

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Є.В Іващенко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 132 Матеріалознавство**

**на тему: «Формування зносостійких покриттів на сталі Х12МФ електроіскровим легуванням Ti, Fe, Co, Cr з наступною ударною обробкою»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-81мп

Гудима Олег Ігорович \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент, к.т.н.

Іващенко Є.В. \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап - проекту:

к.е.н., доцент

Петренко К.В. \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

д.т.н., професор

Левченко О.Г. \_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

асистент

Шаповалова Н.А. \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доцент

Богомол Ю.І. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інженерно-фізичний факультет**  
**Кафедра фізики металів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою  
Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ С.В. Іващенко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Гудимі Олегу Ігоровичу**

1. Тема дисертації «Формування зносостійких покриттів на сталі Х12МФ електроіскровим легуванням Ti, Fe, Co, Cr з наступною ударною обробкою», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Поверхневі шари сталі Х12МФ після електроіскрового легування Ti, Fe, Co, Cr в різній послідовності та ударної обробки.

4. Вихідні дані: літературні дані та дані переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
- 3) провести процеси електроіскрового легування та ударну обробку;
- 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
- 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.т.н, професор Левченко О.Г.		
Організаційно-економічна частини	к.е.н., доцент Петренко К.В.		
3 питань нормоконтролю	ас. Шаповалова Н.А.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Огляд сучасних наукових робіт та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів та їх обговорення		
6	Написання висновку та переліку посилань		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

О.Г. Гудима

Науковий керівник дисертації

Є.В. Іващенко

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація:** 96 сторінок, 31 рисуноків, 16 таблиць, 56 літературних джерел.

**ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), УДАРНА ОБРОБКА, ЛЕГОВАННИЙ ШАР, СТАЛЬ Х12МФ**

**Об'єкт дослідження:** поверхневі шари сталі Х12МФ після електроіскрового легування Ti, Fe, Co, Cr в різній послідовності та ударної обробки.

**Мета дослідження:** дослідження впливу електроіскрового легування Ti, Fe, Co, Cr в різній послідовності та наступної ударної обробки на мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад поверхневого шару сталі Х12МФ.

**Методи досліджень:** мікроструктурний аналіз, рентгенофазовий, мікродюрOMETричний аналіз та гравіметричний аналіз.

**Результати досліджень:** встановлено, що пошарове електроіскрове легування Fe, Cr, Ti, Co, анодами в різних послідовностях сталі Х12МФ призводить до формування зміцнених покриттів з мікротвердістю 5,14 ГПа – 9,14 ГПа за рахунок формуванням твердого розчину FeCr та включень карбиду титану, нітриду титану, інтерметаліду CoTi.

Показано, що наступна ударна обробка поверхневих шарів отриманих ЕІЛ Fe, Cr, Ti, Co, сталі Х12МФ призводить до підвищення мікротвердості на 1 ГПа – 3,9 ГПа.

## ABSTRACT

**Master's dissertation:** 96 pages, 31 figures, 16 tables, 56 literary sources.

ELECTRIC – SPARK ALLOYING (ESA), SHOCK TREATMENT, DOPED LAYER, STEEL KH12MF

**Object of the study:** surface layers of X12MF steel after electrospark doping of Ti, Fe, Co, Cr in different sequence and impact treatment.

**The purpose of the study:** study of the influence of spark spark doping Ti, Fe, Co, Cr in different sequence and subsequent impact treatment on the microstructure, microhardness and phase composition of the surface layer of X12MF steel.

**Research methods:** microstructural analysis, X-ray structural analysis, microdyurometric analysis and gravimetric analysis.

**The results of the investigations:** it is established that the layered electrospark doping of Fe, Cr, Ti, Co, anodes in different sequences of X12MF steel leads to the formation of hardened coatings with microhardness of 5.14 GPa - 9.14 GPa due to the formation of solid FeCr solution and inclusions of titanium carbide, nitride nitride of CoTi intermetallide.

It is shown that the subsequent impact treatment of the surface layers of the obtained EIL Fe, Cr, Ti, Co, X12MF steel leads to an increase in microhardness by 1 GPa - 3.9 GPa.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	9
<b>ВСТУП</b> .....	10
<b>1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД</b> .....	11
1.1 Характеристика сталі марки X12МФ .....	11
1.2 Формування покриття на сталі марки X12МФ методом електроіскрового легування .....	12
1.3 Вплив ударної обробки на структуру та властивості деталі .....	13
1.4 Імпульсний вплив на метали електричною іскрою .....	16
1.5 Принципова схема та фізична модель методу ЕІЛ.....	17
1.6 Висновки до розділу 1 .....	20
<b>2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	21
2.1 Матеріали дослідження .....	21
2.2 Методика проведення експерименту.....	21
2.3 Ударна обробка.....	23
2.4 Мікроструктурний аналіз .....	25
2.5 МікродюрOMETричний аналіз .....	27
2.6 Гравіметричний аналіз .....	28
2.7 Рентгеноструктурний аналіз.....	28
2.8 Висновки до розділу 2 .....	29
<b>3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	31
3.1 Кінетика формування та мікротвердість поверхневих шарів сталі X12МФ при ЕІЛ Со, Сг, Ті, Fe анодами в різній послідовності.....	31
3.2 Результати мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів поверхневих шарів сталі X12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки .....	39
3.3 Вплив ударної обробки на мікротвердість зразків сталі X12МФ після проведення електроіскрової обробки .....	46

3.4 Висновки до розділу 3 .....	50
<b>4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ .....</b>	<b>52</b>
4.1 Актуальність .....	52
4.2 Мета і завдання стартап проекту .....	52
4.3 Опис ідеї проекту.....	53
4.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту .....	54
4.4 Розрахунок собівартості проведення дослідження.....	54
4.4.1 Витрати на основні матеріали.....	55
4.4.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади .....	56
4.4.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова .....	56
4.4.4 Відрахування на соціальні заходи .....	58
4.4.5 Витрати на службові відрядження.....	58
4.4.6 Витрати на послуги сторонніх організацій .....	58
4.4.7 Інші прямі невраховані витрати.....	58
4.4.8 Накладні витрати .....	59
4.4.9 Планова кошторисна вартість дослідження .....	59
4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту .....	60
4.6 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	66
4.7 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту.....	67
4.8 Формування системи збуту.....	69
4.9 Висновки до розділу 4 .....	73
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>74</b>
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	75
5.2 Освітлення .....	78
5.2.1 Аналіз штучного освітлення .....	78
5.3 Вплив шуму .....	79
5.4 Електробезпека .....	79
5.5 Розрахунок вентиляції.....	80

5.6 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації .....	82
5.6.1 Пожежна безпека .....	84
5.7 Висновки до розділу 5 .....	87
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	89
<b>CONCLUSIONS</b> .....	90
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	91



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ЕІЛ – ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ

ОЦК – ОБ'ЄМОЦЕНТРОВАНА КУБІЧНА

ГЦК – ГРАНЕЦЕНТРОВАНА КУБІЧНА

## ВСТУП

Швидкий розвиток сучасної науки та технологій потребує створення нових матеріалів, чий механічні властивості вищі за вже використовувані на сьогоднішній день. Розробка сплавів з новим хімічним та фазовим складом обумовила приріст властивостей міцності конструкційних матеріалів.

В даній роботі досліджено мікротвердість та структуру сталі марки Х12МФ після нанесення Cr, Ti, Fe, Co методом електроіскрового легування до та після проведення ударної обробки. Об'єктом дослідження слугували надані зразки сталі Х12МФ.

**Мета роботи:** дослідження впливу електроіскрового легування Ti, Fe, Co, Cr в різній послідовності та наступної ударної обробки на мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад поверхневого шару сталі Х12МФ.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
- 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
- 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.

## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Характеристика сталі марки X12МФ

Сталь марки X12МФ є найбільш поширеною серед марок легованої сталі. Така сталь використовується в металообробній промисловості. X12МФ відноситься до легованої штампової сталі, яка буде відрізнятися високими механічними характеристиками, а також стійкістю до корозії металу і ще цілим рядом позитивних якостей.

Сталі марки X12МФ відрізняються високою технологічністю. Вони можуть оброблятися різними способами.

До основної сфери застосування сталі марки X12МФ відноситься виготовлення з неї деталей промислового обладнання, які будуть відрізнятися високими вимогами до якості і механічної стійкості. Такий матеріал широко застосовується для виробництва роликів профільованих складних форм [1].

Основними легуючими елементами в даній марці сталі є вуглець і хром. Крім цього, склад сплаву включає кремній, марганець, молібден, ванадій.

Однією з головних переваг сталі X12МФ є можливість використання різних видів обробки.

Комбінування різних методів обробки дає можливість отримувати необхідні характеристики деталей. Завдяки цьому сталь X12МФ знаходить надзвичайно широке застосування у виробництві різних видів ручного інструменту, в тому числі високоякісних ножів [2].

Хімічний склад сталі X12МФ: V (0,15% – 0,3%), Si (0,1% – 0,4%) , Mn (0,15% – 0,45%), Cu (0,3%), Mo (0,4% – 0,6%), Ni (0,4%), S (0,03%), C (1,45% – 1,65%) F (0,03%), Cr (11% – 12,5%), Fe (84 % – 86 %).

Основна легуюча добавка в даній марці сталі - хром. Він впливає на підвищення ріжучих якостей, збільшує стійкість до зношування, забезпечує

високу міцність. Ці якості зумовили велику необхідність в цій сталі для виготовлення матриць і великих пуансонів.

Вольфрам сприяє підвищенню твердості, а також збільшує ріжучу якість сталі.

Ванадій значно знижує чутливість даної сталі до перегрівання, збільшує її стійкість до високих температур. При виробництві потрібно враховувати, що при 0,3 % – 0,5% ванадію в сплаві сталь набуває велику пластичність і міцність, ніж при утриманні його більш 0,5 %.

Молібден призначений для підвищення в'язкості сплаву. Але так як він впливає на зниження стійкості сталі до утворення окалини, його відсоток не повинен перевищувати 1,4% – 1,8%.

Марганець в поєднанні з хромом знижує схильність до викривлення сталі в процесі загартування, але знижує стійкість до високих температур [3].

## **1.2 Формування покриття на сталі марки X12МФ методом електроіскрового легування**

Сталь марки X12МФ є досить поширеною у промисловості оскільки має хорошу міцність, зносостійкість, стійкість до температурних перепадів. Але в процесі роботи такі сталеві деталі піддаються постійним навантаженням, що призводить до їх швидкого зношування та руйнування. Тому актуальним залишається питання покращення їх експлуатаційних характеристик, а саме зміцнення робочої поверхні.

До перспективних методів поверхневого зміцнення належить електроіскрове легування (ЕІЛ), в основу якого покладено електрофізичний вплив на оброблювану поверхню.

Метод ЕІЛ базується на явищі ерозії матеріалу аноду під дією іскрового розряду та спрямованому перенесенні утворених продуктів ерозії на катод

(деталь).

Переваги ЕІЛ полягають у створенні локальних зміцнених шарів з високою адгезією до основи при використанні провідникових матеріалів. При цьому обробка є легкою у технічному виконанні та реалізується на малогабаритному обладнанні, яке легко транспортувати [4].

ЕІЛ дозволяє: значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і технологічної оснастки з метою збільшення їх довговічності і заміни спеціальних сталей менш дефіцитними, або більш дешевими; змінити електричні властивості струмопровідних поверхонь, зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення; збільшити шорсткість металічних поверхонь, наносити проміжні та перехідні шари для полегшення лужіння і процесу пайки, підвищити корозійну стійкість та вогнетривкість інструментів [5].

Процес електроіскрового насичення характеризується наступними показниками:

- ефект зміцнення залежить від нанесення матеріалу аноду на поверхню катоду; кращі результати були отримані, коли для аноду використовували дуже твердий та зносостійкий матеріал, тобто титан або карбіди хрому;
- зовнішній загартований шар є результатом взаємодії елементів аноду і катоду з утворенням твердого розчину, хімічних компонентів, оксидів та нітридів;
- перенесення та взаємодія матеріалів електродів, так як і дія імпульсу при високій температурі та тиску, відповідальні за ефект зміцнення, і вони зашкоджують формування надзвичайно нестійких фаз [7].

### **1.3 Вплив ударної обробки на структуру та властивості деталі**

Ударну обробку в основному використовують для підвищення втомної міцності деталей. Зміцнення досягається шляхом зниження шкідливої дії

концентраторів напружень за рахунок створення в поверхневих шарах деталі внутрішніх напружень стиску і подрібнення кристалічної структури. Це особливо важливо для деталей, які працюють в умовах циклічних знакозмінних навантажень і в корозійних середовищах [19].

В результаті наклепування підвищується міцність поверхневого шару металу і виникає сприятливий розподіл залишкових напружень по перерізу деталі, при якому поверхневий шар знаходиться в зоні стиску[20].

Обробка поверхонь заготовки поверхневою деформацією забезпечує низьку шорсткість і необхідні фізико-механічні властивості. Зменшення шорсткості поверхні супроводжується зменшенням мікронерівностей з одночасним зміцненням обробленої поверхні. В результаті наклепу підвищуються усі характеристики металу, знижується його пластичність і збільшується твердість. Деформація полікристалічного металу відбувається внаслідок деформації кожного зерна. Починається деформація в зернах, орієнтація яких співпадає з напрямком прикладених напружень. На цій стадії деформації під мікроскопом можна спостерігати сліди ковзання в вигляді прямих ліній, які однаково орієнтовані в межах окремих зерен [21].

При збільшені деформації зерна змінюють свою форму. До деформації зерно мало округлу форму, а після деформації - витягнуту в напрямку дії прикладених сил. Утворюється волокниста структура.

При великих ступенях деформації зерна мають закономірну орієнтацію кристалографічних площин. Таку будову металу називають текстурою. Текстуrowаний метал має анізотропію механічних та фізичних властивостей.

Деформація змінює не тільки структуру металу, але і його властивості: підвищується твердість, міцність, межа текучості, а пластичність зменшується. Ці зміни тим більші, чим вища ступінь деформації. Явище зміни структури, механічних та фізико-хімічних властивостей металу при холодній пластичній деформації називають нагартуванням [22].

Наклепаний метал має підвищену кількість дефектів, яка порівняно з недеформованим станом збільшується на два-чотири порядки і може сягати ( $10^{10}$ - $10^{12}$ )  $\text{см}^{-2}$  [23].

В результаті зміцнення поверхневих шарів можна забезпечити покращення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку нерівномірності деформації. Експлуатаційні властивості деталей визначаються цими спільними факторами. Крім того відбувається покращення якості поверхні, що проявляється в зменшенні висоти нерівностей, більш похилої їх конфігурації, що важливо, наприклад, для поверхонь пар тертя [24].

Обробка тонкого поверхневого шару має ряд переваг:

- зберігається цілісність волокон металу;
- у поверхневому шарі утворюється дрібнозерниста структура або навіть текстура з анізотропними властивостями;
- відсутні дефекти, пов'язані з сильним нагріванням заготовок в процесі обробки;
- досягається мінімальна шорсткість поверхні;
- можливість утворення мікрорельєфів із заданою площею мастильних канавок, що покращує умови експлуатації;
- утворюються залишкові напруження в поверхневому шарі;
- відбувається плавне збільшення мікротвердості поверхневого шару заготовки;
- при виборі методу і режимів обробки забезпечується підвищення зносостійкості, контактної витривалості і інших експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей на 20 %...30 %.

### 1.4 Імпульсний вплив на метали електричною іскрою

Важливим напрямком матеріалознавства є створення принципово нових матеріалів та поверхонь з високими фізико-механічними властивостями, виготовлення екологічно чистих економічно вигідних технологій їх отримання. Актуальність даної проблеми залишається і в методі електроіскрового легування (ЕІЛ), засновниками якого є вчені Б.Р.Лазаренко та М.І.Лазаренко. Метод ЕІЛ за своє існування набув широкого використання у високорозвинених країнах, таких як США, Японії, Німеччині та інших.

Вагомий внесок, в історію розвитку методу як наукового напрямку зробили Г.В.Самсонов, А.Г.Бойцов, Ф.Х.Бурумкулов, А.Д.Верхотуров, Г.П.Іванов, В.А.Кім, Іноуе Кієсі та інші [11-13]. Дослідження процесів ЕІЛ, та розробка нових технологій методу дозволяють отримувати на металевих поверхнях покриття які будуть відповідати заданим властивостям і вимогам експлуатації деталей[14].

Дякуючи високим показникам продуктивності, універсальності, та простоті, метод ЕІЛ здобув широке застосування в промисловості. Сам процес являє собою взаємодію елементів в умовах, що мають високі показники температури, тиску, та проходять в локальному об'ємі великих електричних та магнітних полів. Ці умови утворюють складну сукупність фізичних явищ, які визначають практично всі особливості процесу електроіскрового легування.

Основним параметром ЕІЛ вважається енергія електричного розряду ( $W_p$ ), змінюючи яку можемо впливати на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні характеристики виробів [15].

$$W_p = K \times \frac{c^2 U}{2}, \quad (1.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у розрядному контурі ( $K \sim 0,5-0,7$ );



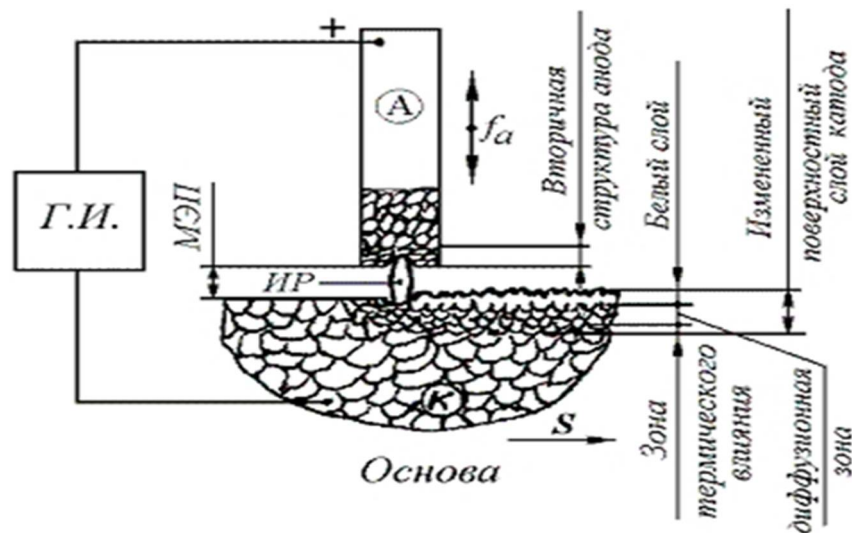
$C$  – ємність конденсаторів (Ф);

$U$  – напруга на конденсаторах (В).

### 1.5 Принципова схема та фізична модель методу ЕІЛ

Метод електроіскрової обробки [12] заснований на явищі електричної ерозії матеріалів під час іскрового розряду в газових середовищах, та полярного переносу продукту ерозії з аноду на катод (виріб), де і формується зміцнений шар зі зміненою структурою та складом.

Принципова схема процесу ЕІЛ з вібруючим анодом у вигляді електрода, та зображення поверхневого шару катоду, що утворюється в процесі, зображені на Рисунках 1.1 та 1.2. Коли відстань між анодом і катодом співзмірна з пробивною, - утворюється іскровий розряд що триває  $10^{-6}$  с –  $10^{-3}$  с, який зазвичай завершується при контакті електродів [16,17].



Г.И. – генератор імпульсів; МЭП – міжелектродний проміжок; А – анод; К – катод (деталь); ІР – іскровий розряд;  $f_a$  – частота коливань аноду

Рисунок 1.1 – Принципова схема процесу ЕІЛ [16]

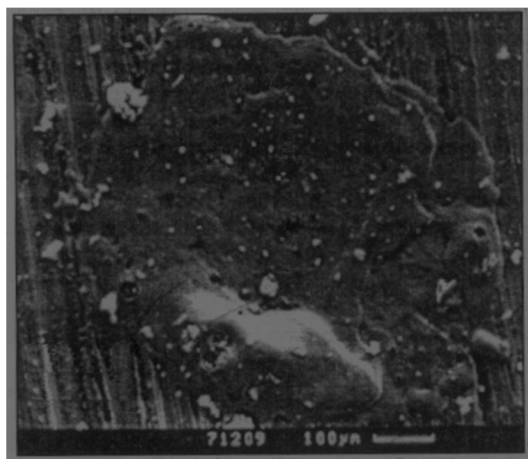


Рисунок 1.2 – Структура що утворюється на катоді, в результаті ЕІЛ [17]

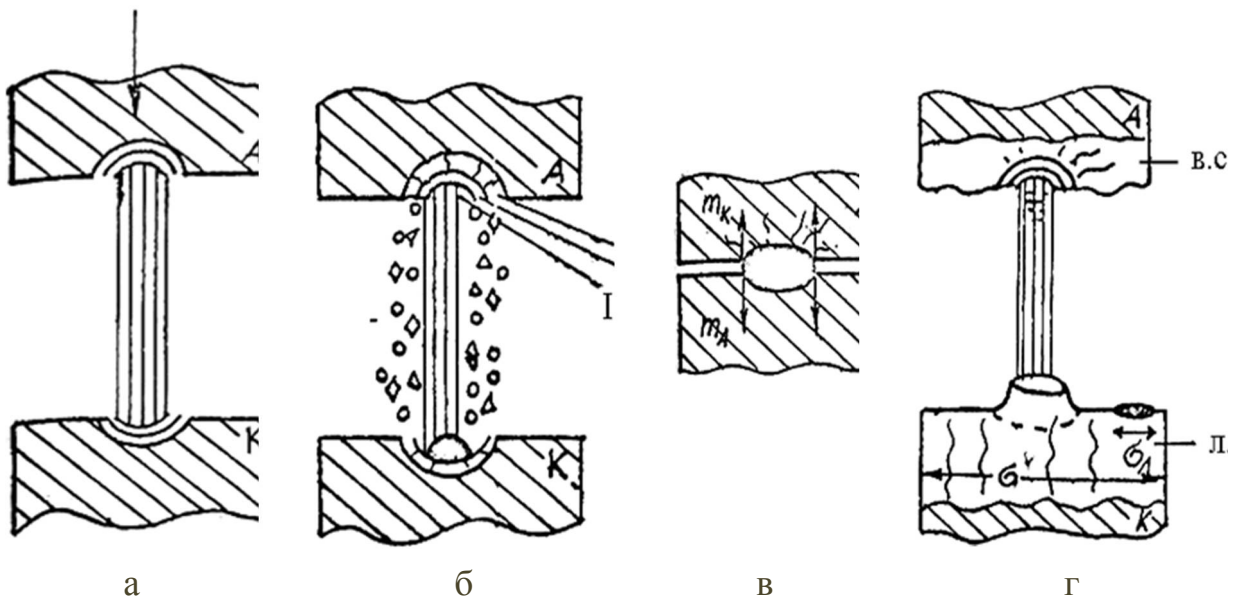
На поверхні електродів, після пробою міжелектродного проміжку утворюються локальні області плавлення, випаровування. Перенос матеріалу аноду на катод приводить до зміни структури та властивостей поверхневого шару. Після завершення електричного розряду, та від'єднанні аноду від катоду, завершується цикл електричного ланцюжка. Неперервний процес ЕІЛ відбувається за рахунок періодичної комутації аноду з катодом, що утворюється завдяки спеціальним приладам, наприклад вібратора з закріпленням на ньому анодом [18].

Найбільш популярні уявлення методу ЕІЛ, були запропоновані засновниками цього методу Б.Р.Лазаренко та М.І.Лазаренко. Вони основані на тому, що внаслідок протікання іскри в точках виникнення розряду на поверхні електродів проходить переміщення та взаємне проникнення розплавлених та розм'якшених зон обох електродів [19].

Проте наведені явища ґрунтуються на явищах які супроводжують високовольтний розряд, в той час як у більшості установках для нанесення покриття використовується низька напруга. Дана різниця є принциповою, та цілком змінює уявлення про протікання процесу [20]. Натомість, основний внесок

у процес вносить процес масопереносу, який обумовлений між електродним контактним нагріванням ті плавленням електродів.

Аналіз літературних та експериментальних даних методу ЕІЛ приводять автора [21] до наступної моделі вібраційного легування (Рисунок 1.3) дана модель відрізняється [22] кінетикою процесу, та врахуванням поверхневих явищ на матеріалі аноду та катоду, які включають: руйнування електродів у рідкій, паровій та твердій фазах; захоплення їх у момент контакту; зміну властивостей робочих поверхонь за рахунок перенесення матеріалу та імпульсних навантажень; наявність на катоді у зоні дії іскри мікротрощин, що забезпечує перекристалізацію матеріалів та їх фізико – хімічну взаємодію; обмеження товщини шару за рахунок внутрішніх напружень та термічної втоми; дискретний характер формування легованого шару.



а – пробій міжелектродного проміжку, б – утворення ерозійних лунок на електродах з трьома зонами – випаровування (І), плавлення (ІІ) та напруженого стану (ІІІ), в – контакт електродів, г – формування на аноді вторинної структури та легованого шару на катоді [23]

Рисунок.1.3 – Узагальнена схема процесу ЕІЛ [23]

В лунці можна виділити три зони, це випаровування, плавлення та напруженого стану. Чим менша температура плавлення, кипіння та коефіцієнт теплопровідності, тим більша зона плавлення та випаровування. За рахунок термічних та термомеханічних хвиль напружень. Зона напруженого стану утворюється за рахунок хвилі термічних та термомеханічних напружень внаслідок імпульсного нагріву, реактивного впливу плазмового струменю та його розширення у момент спадання струму у імпульсі [24].

Основною перевагою узагальненої моделі Верхотурова [23] є можливість керування властивостями покриттів за допомогою підбору матеріалів електродів. Проте ця модель не враховує взаємозв'язок мікротвердості матеріалу електроду, легованого шару, зносо- та жаростійкості покриттів.

## **1.6 Висновки до розділу 1**

1. Комбінована обробка деталей є перспективним напрямком для зміцнення деталей та підвищення їх зносостійкості. З отриманих літературних даних можна зробити висновок, що цей напрямок є результативним і успішним до поставлених задач зміцнення. ЕІЛ та ударну обробку відносяться до перспективних способів обробки завдяки отриманню високої щільності дефектів кристалічної будови, що створює сприятливі умови для процесів дифузії і фазових перетворень, для утворення дрібнозернистих структур.

2. В результаті зміцнення поверхневих шарів можна забезпечити покращення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень.

## **2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **2.1 Матеріали дослідження**

Матеріалом дослідження були зразки, виготовлені зі сталі марки Х12МФ. Вибір цього матеріалу визначався тим, що він достатньо широко розповсюджений інструментальним матеріалом, даний матеріал не дорогий і в той самий час не достатньо міцний, і для підвищення цього параметру його поверхню слід зміцнювати, наприклад методом ЕІЛ. Матеріалом анодів слугували Fe (99,9 %), Co (99,9 %), Cr (99,9 %), Ti (99,9 %).

### **2.2 Методика проведення експерименту**

У даний час, у вітчизняній і світовій практиці, дослідницький і комерційний інтерес спрямований на розробку покриттів для роботи у екстремальних умовах експлуатації. Високоєфективним методом отримання таких покриттів є електроіскрове легування.

Установки для електроіскрового легування складаються в основному з трьох вузлів: понижуючого трансформатору, випрямлячів, конденсаторів, а також вібратору [25]. Більшість установок працює на випрямленому пульсуючому струмі із живленням від промислової мережі змінного струму напругою 220 В.

Робота установки для електроіскрового легування основана на тому, що на обкладинках конденсатору спочатку накопичується електрична енергія, яка потім миттєво звільняється між електродами. [25].

Для нанесення покриттів використовувалась установка “ЕЛИТРОН – 26А” (рис. 2.1). Енергетичні параметри: сила струму 1,5 А, напруга 60 В. Обробка відбувалась в середовищі повітря. Тривалість нанесення кожного шару складає 3 хвилини.

Принцип дії оснований на генеруванні електроіскрових розрядів між анодом (легуючий матеріал) та катодом (виріб).



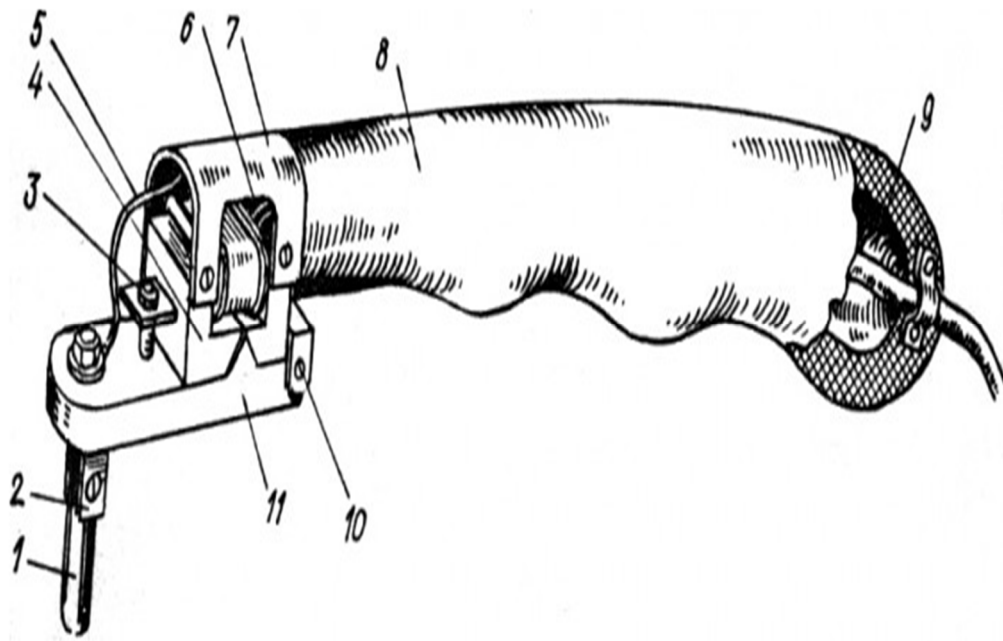
Рисунок 2.1 – Вигляд приладу “ ЕЛІТРОН – 26А”

Використовувані електричні параметри для приладу: сила струму розряду 2 А – 2,2 А, напруга між електродами 60 В - 70 В, частота імпульсів ~ 50 Гц.

ЕІЛ здійснювалась в наступних послідовностях Fe-Cr-Ti, Cr-Fe-Ti, Cr-Co-Ti та Co-Cr-Ti.

На рисунку 2.2 наведена найпростіша конструкція робочого органу з електромагнітом. Легуючий електрод 1 закріплюється на електродотримачі 2, до якого проводом 5 підводиться імпульсна технологічне напруга від генератора. Джерелом колювання є електромагніт 4. Для збудження колювання

електродотримача на ньому встановлена трикутна феромагнітна вставка якоря 11, а сам електродотримач одним своїм кінцем вільно підвішений на осі 10. Тягове зусилля електромагніта регулюється гвинтом 3. Живлення до електромагніту підводиться проводом 6 від спеціального джерела живлення. Вся система підвішується за допомогою кронштейна 7 до рукоятки 9 і закривається кожухом 8 [8].



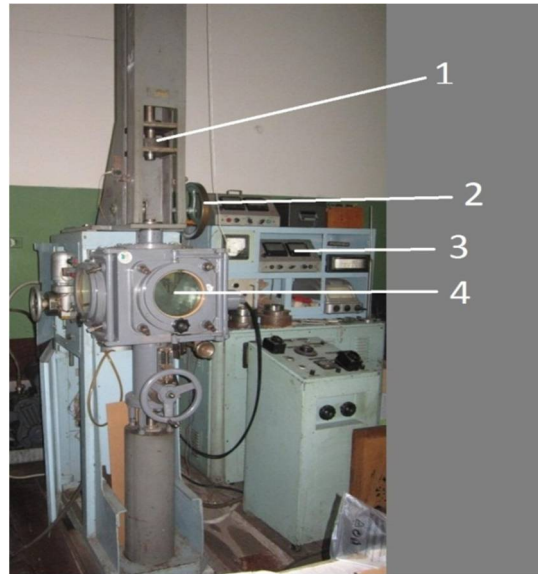
1 – легуючий електрод; 2 – електродотримач; 3 – гвинт; 4 – електромагніт ;  
5,6 – провода; 7 – кронштейн; 8 – кожух; 9 – рукоятка ; 10 – вісь; 11 – трикутна  
феромагнітна вставка якоря

Рисунок 2.2 – Ручний електромагнітний вібратор для ЕІЛ [8]

### 2.3 Ударна обробка

Ударно-механічна обробка проводилась на установці УсМ-1 для імпульсної деформації металів (рис. 2.3).





1 – молот що падає на зразок; 2 – ручка для піднімання молоту на визначену висоту; 3 – установка для управління вакуумними насосами; 4 – вакуумна камера

Рисунок 2.3 – Установка для ударної механічної обробки УсМ-1

Обробку проводили за кімнатної температури ( $T = 293 \text{ K}$ ) падаючим вантажем, вага якого складає  $P = 10,5 \text{ кг}$ .

Обробка зразків проводилася при різних енергіях. Виходячи з рівняння кінетичної енергії, висота падіння вантажу  $h$  складала  $1 \text{ м}$  та  $1,75 \text{ м}$ . Відповідно, енергія падаючого вантажу в момент удару з відстані  $1 \text{ м}$  складала  $E = 103 \text{ Дж}$ , а з відстані  $1,75 \text{ м}$  –  $E = 180 \text{ Дж}$ . В момент зіткнення зі зразком швидкість вантажу складала  $V_{\text{пад.вант.}} = 5,8 \text{ м/с}$ .

За даними по початкову висоту зразків  $h_0$ , мм та кінцеву висоту зразків  $h_\varepsilon$ , мм розраховували швидкість  $\varepsilon$ ,  $\text{с}^{-1}$  та ступінь (%) деформування.

Ступінь деформації зразків  $\varepsilon$  та швидкість пластичної деформації  $\varepsilon'$ , розраховувалися за формулами (2.1) та (2.2), відповідно:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_\varepsilon}{h_0}, \quad (2.1)$$



$$\varepsilon' = \frac{\Delta h/h_0}{\tau}, \quad (2.2)$$

$h_0$  – початкова висота зразка, мм;

$h_\varepsilon$  – висота зразка після деформації, мм;

$\Delta h$  – зміна зразків по висоті після ударної обробки, мм.

Енергія вільного падіння розраховувалася за формулою (2.3):

$$E = mgh, \quad (2.3)$$

де  $m$  – маса вантажу, кг;

$g$  – напруженість гравітаційного поля,  $\text{м/с}^2$ ;

$h$  – висота падіння вантажу.

## 2.4 Мікроструктурний аналіз

Перед проведенням мікроструктурного аналізу проводиться пробопідготовка. Досліджувані зразки закріплювали у струбцинах (між леговою поверхнею та струбциною закладали мідну пластинку) та робили поперечний шліф. При цьому використовували абразивний папір різної зернистості (від 800 до 2500). Шліфування починають на папері з крупним зерном, поступово переходячи до обробки папером з більш дрібним зерном (рис. 2.4). На кожному виді абразивного матеріалу зразок шліфують до тих пір, поки повністю не зникнуть всі сліди подряпин від попередньої операції. Надалі зразок очищують від налиплих порошків абразиву та зі шліфованого матеріалу переходять до шліфування папером з дрібнішим абразивом. Зазвичай виявляється достатнім використання 4–5 номерів шліфувального паперу. Після завершення шліфування зразок ретельно промивється під струменем води та висушується [14].

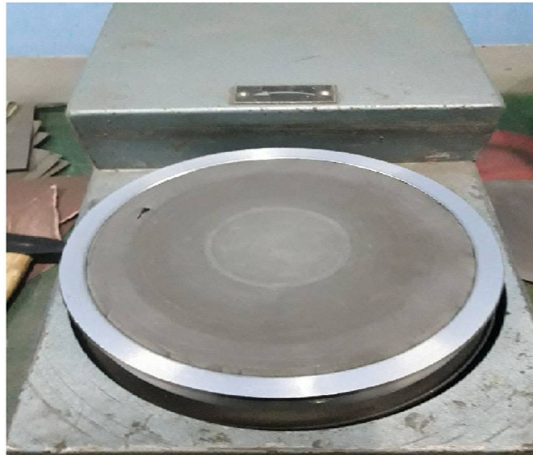
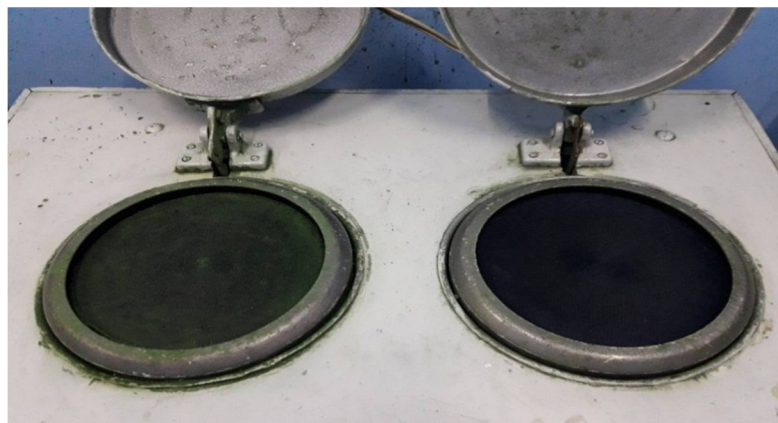


Рисунок 2.4 – Установка для проведення шліфування зразків

Подальше полірування слугує для зменшення нерівностей на плоскій поверхні зразка. Полірування закінчують при зникненні з поверхні будь-яких рисок і подряпин та досягненні нею дзеркальної гладкості. Полірування проводилось на полірувальних кругах (рис. 2.5), вкритих фетром з додаванням водного розчину оксиду хрому (рис. 2.5, а) та води (рис. 2.5, б).

Для визначення структури зразок травили 20 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.



а

б

а – на водному розчині оксиду хрому; б – на воді

Рисунок 2.5 – Полірувальні кола

Мікроструктура зразків розглядалась на оптичному мікроскопі «МЕТАМ РВ-21» та фотографування за допомогою камери DCM310.

## 2.5 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість протравлених шліфів вимірювали на приладі ПМТ-3.

Визначення мікротвердості проводилося шляхом вдавлення стандартної алмазної пірамідки з двограним кутом при вершині  $136^\circ$  при навантаженні 20 г і 50 г протягом (7 – 10) секунд. За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа за формулою:

$$H_\mu = \frac{18,2 \times P}{\langle d \rangle^2} = \frac{18,2 \times P}{\langle A \times z \rangle^2} = \frac{18,2 \times P}{\langle 0,31 \times z \rangle^2} [\text{ГПа}] = \frac{1,854 \times P}{\langle d \rangle^2} \left[ \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{мм}^2} \right], \quad (2.4)$$

$$H_\mu = 1854 \times P / (d \times 0.3), \quad (2.5)$$

де  $H_\mu$  - значення мікротвердості;

$P$  - навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою (100 – 200) г складає  $\pm 0,1$  мг);

$d_{\text{сер}}$  - середнє значення довжини діагоналі, яке розраховується за формулою [26]:

$$d_{\text{сер}} = (d_{i1} + d_{i2}) / 2, \quad (2.6)$$

де  $d_{i1}, d_{i2}$  - відповідно довжини діагоналей чотирьохкутного відбитка, мкм.

Найбільша похибка окуляр-мікрометра на всьому діапазоні вимірювань складає  $\pm 2$  мкм у відповідності з паспортом.

## 2.6 Гравіметричний аналіз

Кінетику масопереносу вивчали гравіметричним методом із точністю  $10^{-4}$  г, вимірюючи сумарний ( $\sum^t \Delta m_k$ ) приріст маси катоду та сумарну ( $\sum^t \Delta m_a$ ) ерозію аноду через кожну хвилину обробки.

Визначали сумарну ерозію аноду  $\Sigma \Delta m_a$  та сумарний приріст маси катоду  $\Sigma \Delta m_k$ :

$$\Sigma \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.7)$$

$$\Sigma \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.8)$$

де  $t_n$  – час  $n$ -го вимірювання маси зразка;

$t_0$  – до ЕІЛ.

Коефіцієнт масоперенесення знаходили із співвідношення:

$$K = \left| \frac{\Sigma \Delta m_k}{\Sigma \Delta m_a} \right| \times 100\% . \quad (2.9)$$

Контроль маси електродів проводився з використанням лабораторних вагів «AXIS AD50» (точність вимірювання 0,0005 г).

За одержаними результатами будували криві  $\Sigma \Delta m_k$  та  $\Sigma \Delta m_a$  в залежності від тривалості обробки.

## 2.7 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгенофазовий аналіз проводився для встановлення наявності фаз в досліджуваному зразку і їх ідентифікації. Дослідження проводилися на дифрактометрі Ultima IV, для отримання прямої, точної, достовірної та багатогранної інформації про фазовий склад та структуру матеріалів. Зйомку проводили при потужності 2 кВт - 3 кВт, напрузі – (20-60) кВ та силі струму

40 мА - 50 мА. Матеріалом випромінювачем виступала мідь. Діапазон вимірювання  $2\theta$ :  $-3 \dots 162^\circ$ .

За допомогою дифрактометра Ultima IV було визначено:

- фазовий склад (ідентифікація фаз), структурні характеристики та їх зміни;
- дослідження фазових та структурних перетворень;
- прецизійне визначення параметрів кристалічної решітки;
- аналіз дефектів кристалічної будови.

Визначення міжплощинних відстаней проводилося за формулою Вульфа Бреггів:

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (2.10)$$

де  $d$  – міжплощина відстань;

$\theta$  – бреггівський кут;

$\lambda$  – довжина хвилі.

Період ґратки  $a$  матеріалу основи (Fe) розраховувався за формулою:

$$a = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \times \sqrt{H^2 + K^2 + L^2} \quad (2.11)$$

де (HKL) – індекси площин відбиття,

$\lambda$  – довжина хвилі.

## 2.8 Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір досліджуваного матеріалу, анодів для ЕІЛ, видів поверхневого зміцнення.

2. В роботі запропоновано режими комбінованої обробки: ЕІЛ (Fe-Cr-Ti, Cr-Fe-Ti, Cr-Co-Ti та Co-Cr-Ti) + ударна обробка;

3. Для встановлення об'єктивних даних використовувалась комплексна методика дослідження поверхні сталі X12МФ після запропонованих обробок.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Кінетика формування та мікротвердість поверхневих шарів сталі X12МФ при ЕІЛ Co, Cr, Ti, Fe анодами в різній послідовності

Мікротвердість, як параметр що характеризує міцнісні характеристики покриття основного матеріалу перехідної зони є важливим фактором. В даній роботі вимірювалась мікротвердість покриття на кожному зразку, та її зміна за глибиною комплексу покриття – основний метал.

На рис.3.1 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після ЕІЛ анодами у послідовності Fe-Cr-Ti. Товщина покриття 20 мкм.

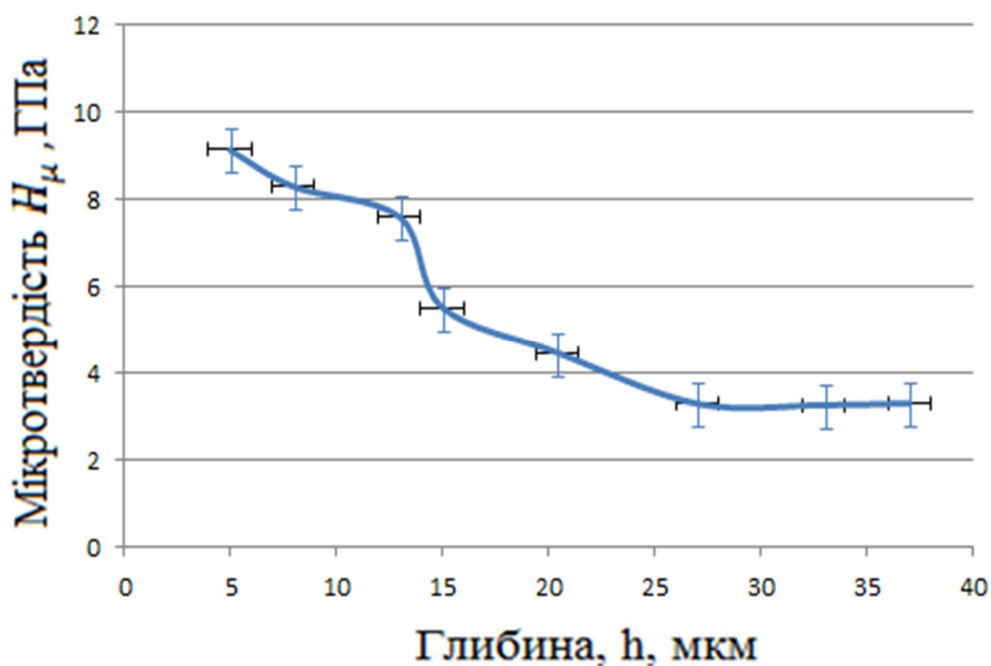


Рисунок 3.1 – Мікротвердість зразка сталі X12МФ, електроіскрове легування анодами Fe-Cr-Ti

Аналіз представленою графіка свідчить про те, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Зразок після електроіскрового

легування має максимальну мікротвердість 9,14 ГПа, надалі значення зменшуються і коливаються в інтервалі від 8,3 ГПа до 4,48 ГПа до глибини 20,4 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 2,77.

На рис.3.2 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після ЕІЛ анодами у послідовності Cr-Fe-Ti. Товщина шару в інтервалі від 15 мкм до 20 мкм.

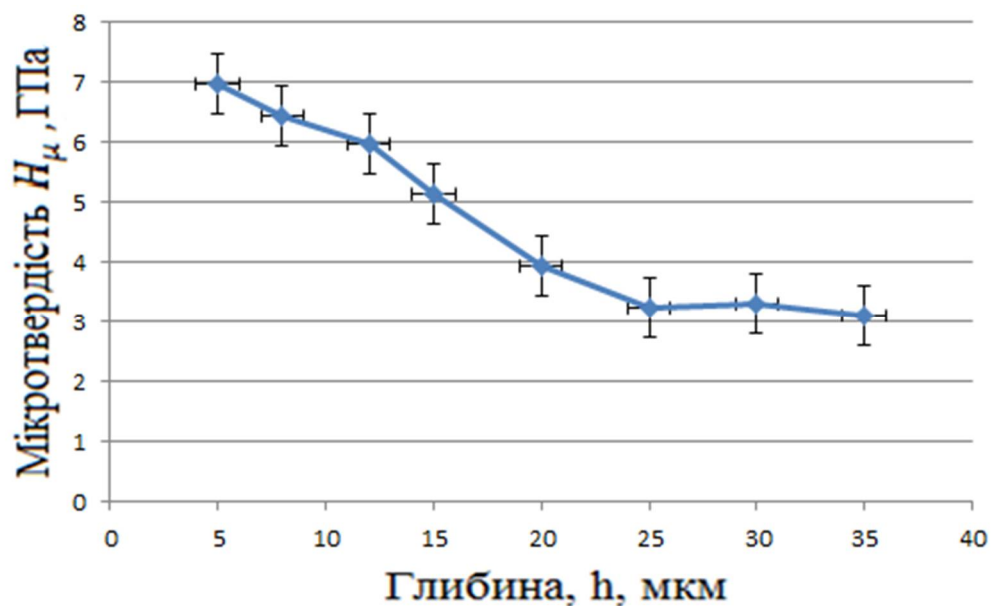


Рисунок 3.2 – Мікротвердість зразка сталі X12МФ, електроіскрове легування анодами Cr-Fe-Ti

З даного графіку можна побачити, що мікротвердість після ЕІЛ збільшується. Після електроіскрового легування зразок має максимальну мікротвердість 6,99 ГПа, надалі значення зменшуються і коливаються в інтервалі від 6,45 ГПа до 3,93 ГПа до глибини 20 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 2,12.

На рис.3.3 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на



поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після ЕІЛ анодами у послідовності Cr-Co-Ti. Товщина шару в інтервалі від 18 мкм до 23 мкм.

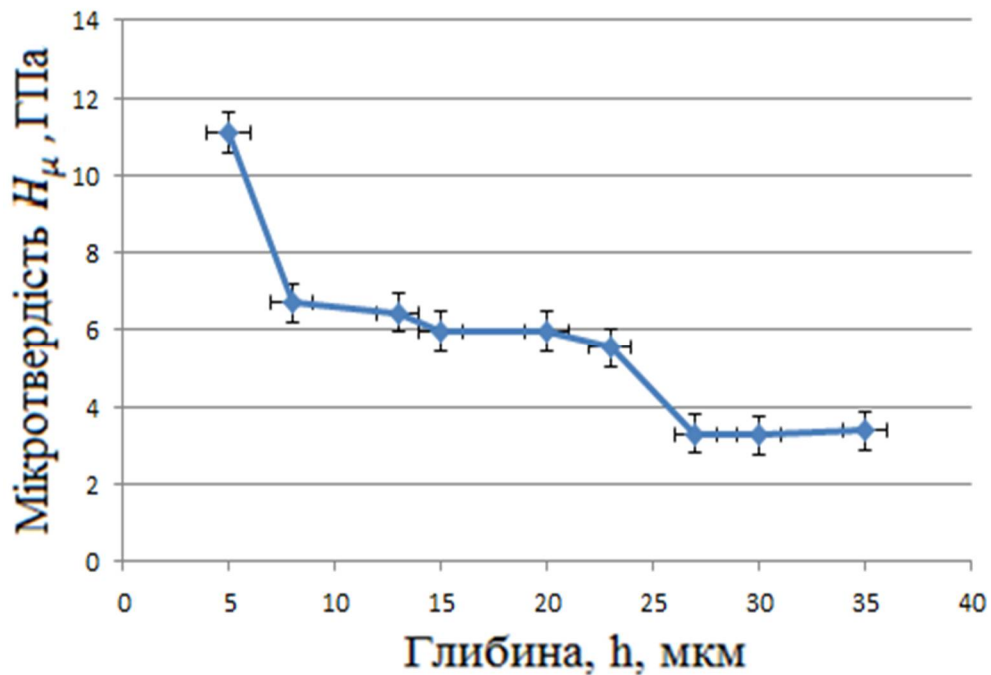


Рисунок 3.3 – Мікротвердість зразка сталі X12МФ, електроіскрове легування анодами Cr-Co-Ti

З графіку бачимо, що мікротвердість знаходиться в межах від 6,7 ГПа до 11,1 ГПа, а максимальна мікротвердість 11,1 ГПа. Глибина шару покриття 23 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 3,36.

На рис.3.4 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після нанесення покриття Co-Cr-Ti. Товщина шару в інтервалі від 18 мкм до 21 мкм.

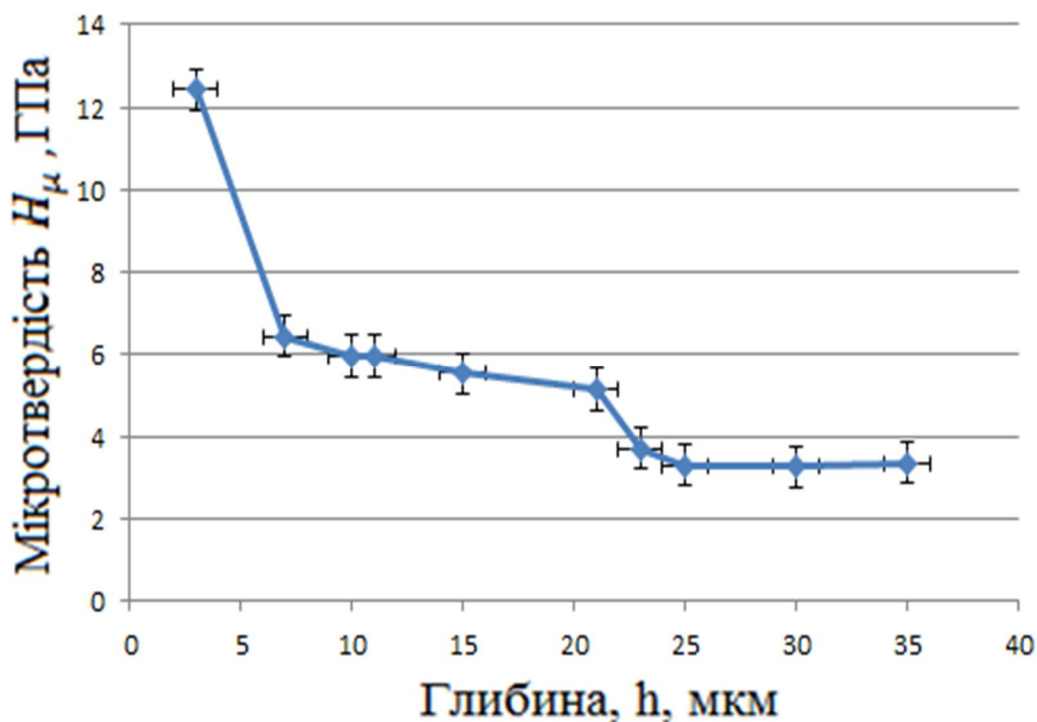


Рисунок 3.4 – Мікротвердість зразка сталі X12МФ, електроіскрове легування анодами Co-Cr-Ti

Аналізуючи представлений графік бачимо, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Інтервал значень мікротвердості знаходиться від 6,45 ГПа до 3,7 ГПа до глибини 21 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. Максимальна мікротвердість становить 12,43 ГПа, Коефіцієнт зміцнення або відношення даного значення до попереднього дорівнює 3,77.

В процесі ЕІЛ проводився гравіметричний аналіз, щоб вивчити кінетику формування покриття. Відбувалося зважування зразка та легувального аноду після кожної хвилини обробки. Графіки залежності сумарного приросту маси катоду ( $\Sigma \Delta m_k$ ) та ерозії анодів ( $\Sigma \Delta m_a$ ) під час ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності легування Fe-Cr-Ti зображено на рисунку 3.5.

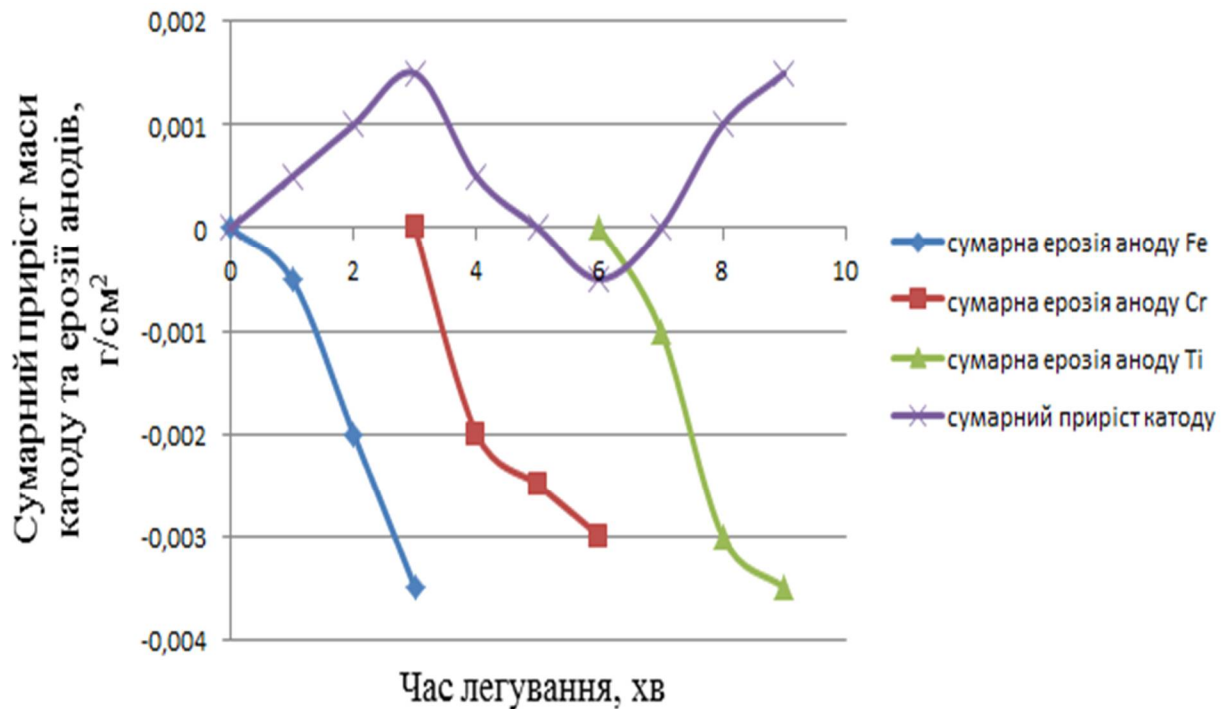


Рисунок 3.5 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності Fe-Cr-Ti

З рисунку 3.5 спостерігаємо, що під час ЕІЛ сталі X12МФ в послідовності Fe-Cr-Ti крива сумарного приросту маси катоду переходить в область від'ємних значень з третьої хвилини легування і до 6-ої хвилини. При цьому графік сумарної ерозії хромового аноду спадає. На другій стадії процесу при легуванні Ti відбувається постійне зростання кривої сумарного приросту катоду ( $\Sigma\Delta m_k$ ). Крива ерозії Ti аноду зменшується. При порівнянні графіків  $\Sigma\Delta m_a$  трьох легувальних електродів, можна побачити, що Fe та Ti мають більшу ерозію ніж Cr, що можна пояснити їх меншою температурою плавлення ( $T_{пл,Fe} = 1811\text{ K}$  та  $T_{пл,Ti} = 1941\text{ K}$ ) у порівнянні з хромом ( $T_{пл,Cr} = 2130\text{ K}$ ).

На рисунку 3.6 зображено графік залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів під час ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності легування Cr-Fe-Ti.

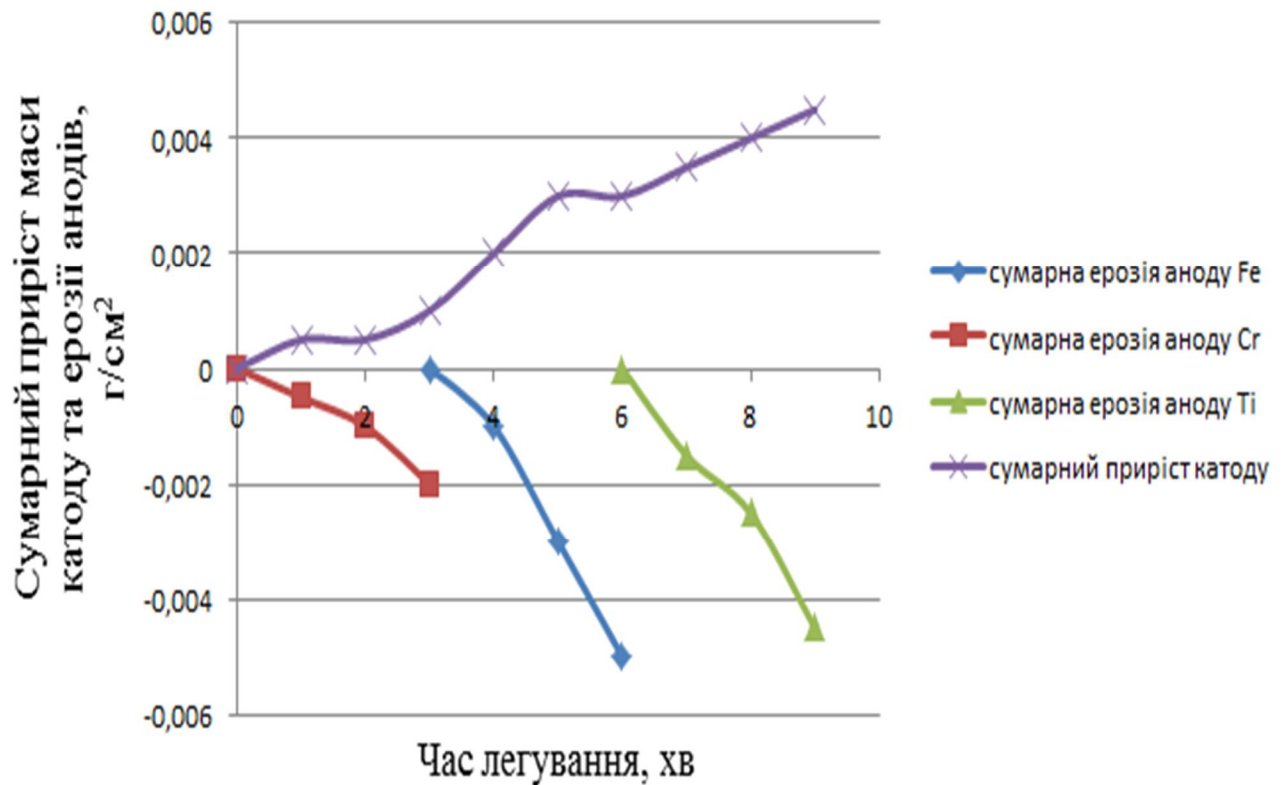


Рисунок 3.6 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки процесі ЕІЛ сталі Х12МФ в послідовності Cr-Fe-Ti

З даного графіку бачимо, що криві сумарної ерозії трьох електродів постійно знижуються. Зниження сумарної маси катоду на другій стадії можна пояснити утворенням великої кількості вторинних структур на аноді, кількість яких із збільшенням часу легування зростає та перешкоджає ефективному формуванню покриття на сталевій основі. Подібно до попереднього процесу, Fe та Ti електроди швидше еродують, ніж хромовий, що пов'язано з його температурою плавлення.

На рисунку 3.7 зображено графік залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів під час ЕІЛ сталі Х12МФ у послідовності легування Cr-Co-Ti.

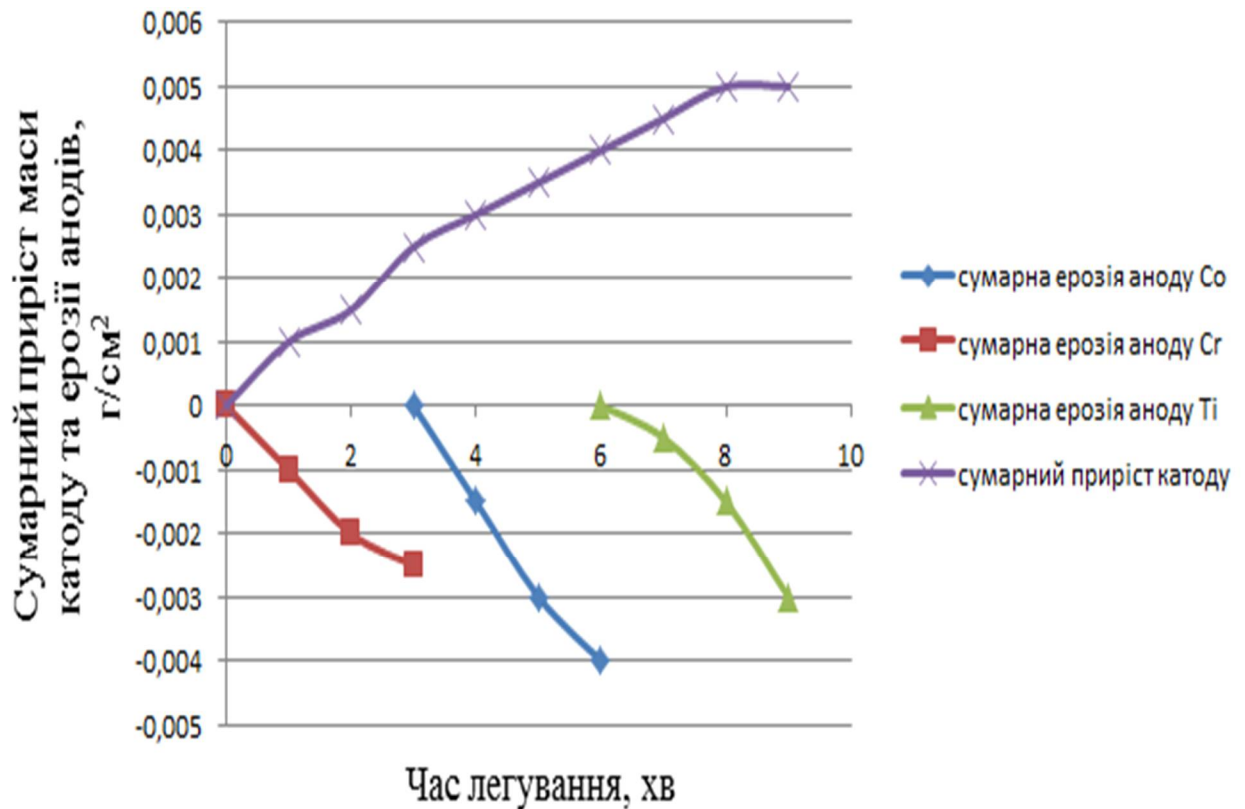


Рисунок 3.7 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності Cr-Co-Ti

На даному графіку криві сумарної ерозії трьох електродів постійно знижуються. Подібно до попереднього процесу, Co та Ti електроди швидше еродують, аніж хромовий, що пов'язано з його температурою плавлення.

При порівнянні графіків  $\Sigma\Delta m_a$  трьох легувальних електродів, можна побачити, що Co та Ti мають більшу ерозію ніж Cr, що можна пояснити їх меншою температурою плавлення ( $T_{пл,Co} = 1768\text{ K}$  та  $T_{пл,Ti} = 1941\text{ K}$ ) у порівнянні з хромом ( $T_{пл,Cr} = 2130\text{ K}$ ).

На рисунку 3.8 зображено графік залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів під час ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності легування Co-Cr-Ti.

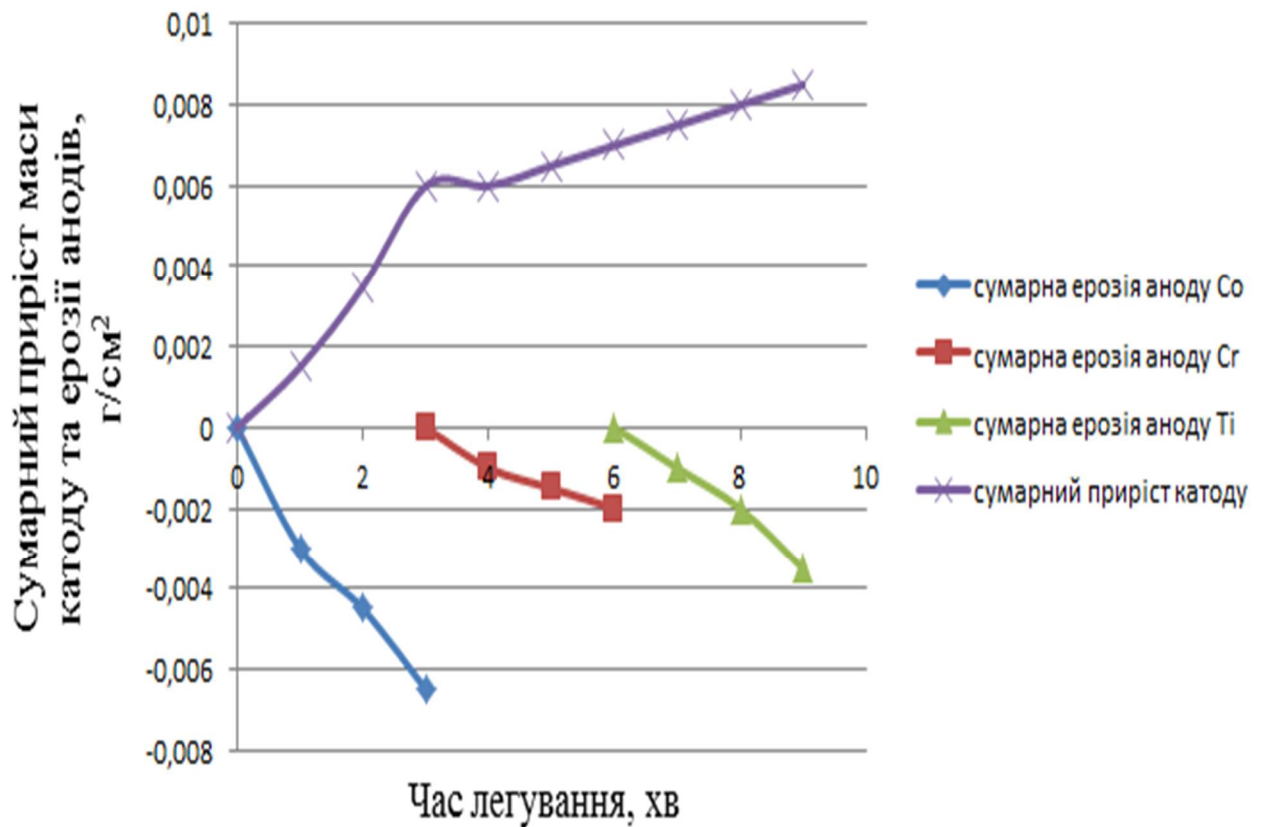


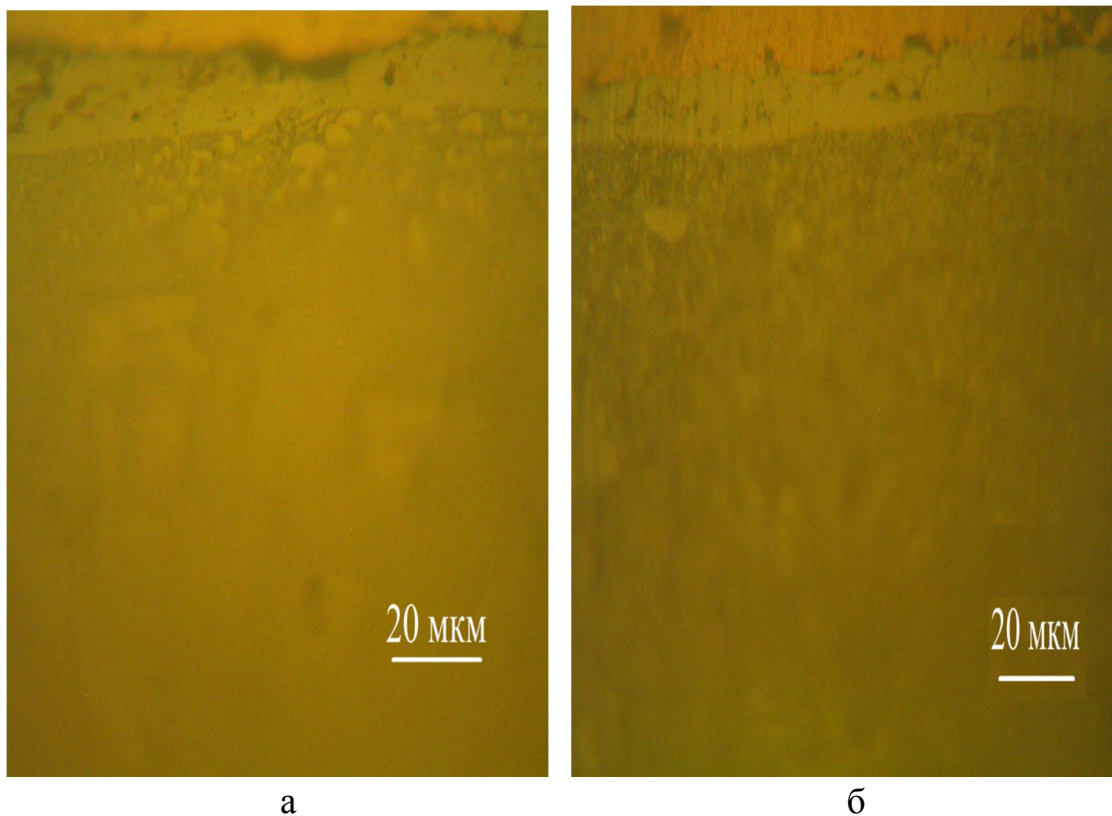
Рисунок 3.8 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії анодів від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі X12МФ у послідовності Co-Cr-Ti

На рисунку 3.8 зображено графіки кінетичних кривих під час ЕІЛ. Криві сумарної ерозії трьох електродів постійно знижуються. Подібно до попереднього процесу, Со та Ti електроди швидше еродують, ніж хромовий, що пов'язано з його температурою плавлення.

Подібно до попереднього процесу, Со та Ti електроди швидше еродують, ніж хромовий, що пов'язано з його температурою плавлення.

### 3.2 Результати мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів поверхневих шарів сталі X12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки

На рисунку 3.9 а, б зображено фотографії структури поверхневого шару зразків сталі X12МФ після ЕІЛ при послідовності нанесення матеріалу електродів Fe-Cr-Ti до та після проведення ударної обробки.



а – до ударної обробки; б – після ЕІЛ та ударної обробки

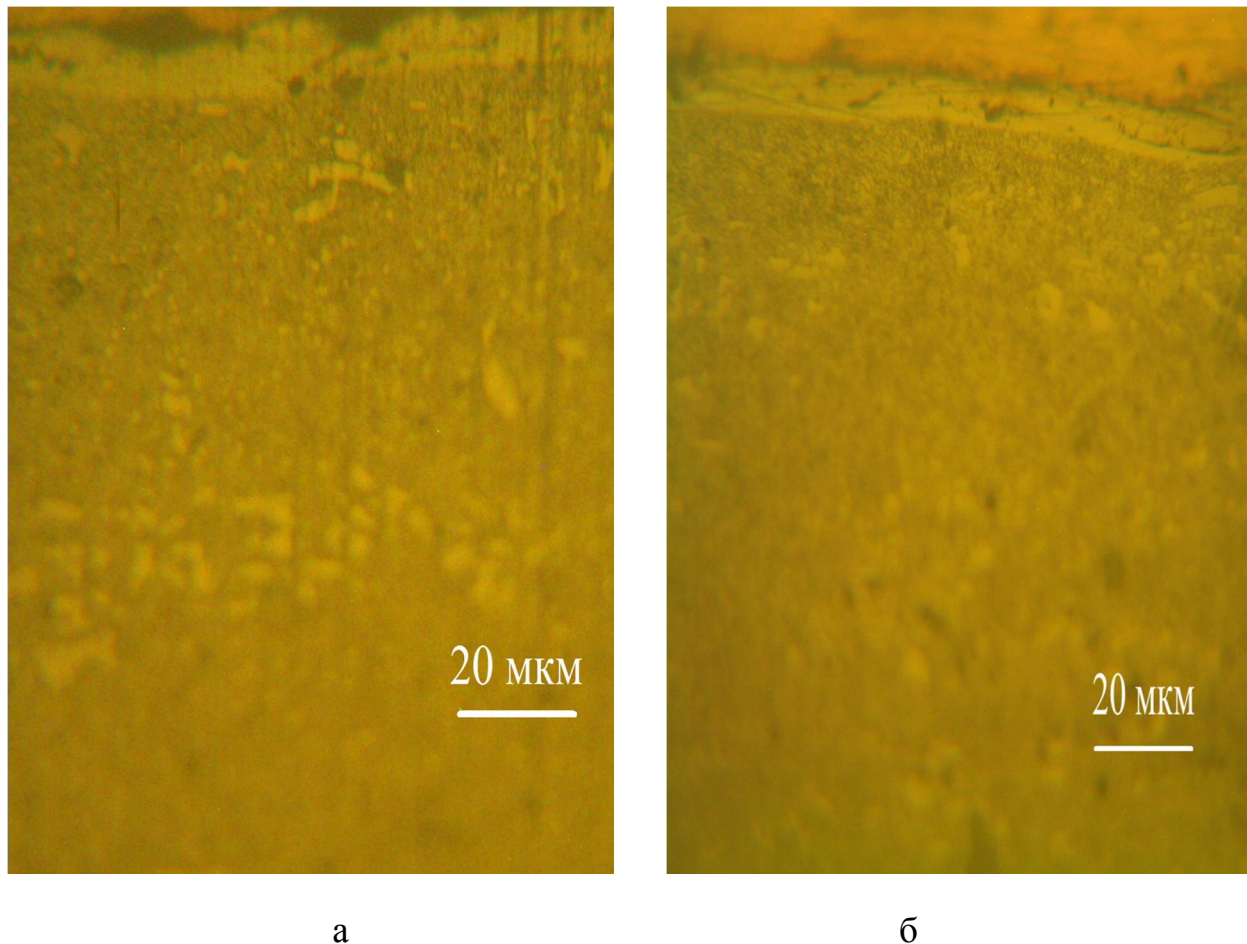
Рисунок 3.9 – Мікроструктура поверхневої зони сталі X12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки

За даними металографічного аналізу можемо спостерігати, що легований шар має товщину 15 мкм – 20,4 мкм. Після проведення ударної обробки товщина шару змінюється і знаходиться в інтервалі 10 мкм – 12 мкм. В порівнянні з різною послідовністю нанесення шару покриття (Fe-Cr-Ti та Cr-Fe-Ti) можна зробити висновок, що зміна послідовності нанесення покриття не впливає на товщину



шару покриття. Початкова висота зразка становила 4,73 мм після ударної обробки вона зменшилась і становить 4,32 мм. Зміна висоти зразка становить 0,41 мм.

На рисунку 3.10 а, б зображено фотографії структури поверхневого шару зразків сталі Х12МФ після ЕІЛ при послідовності нанесення матеріалу електродів Cr-Fe-Ti до та після проведення ударної обробки.



а – до ударної обробки; б – після ЕІЛ та ударної обробки

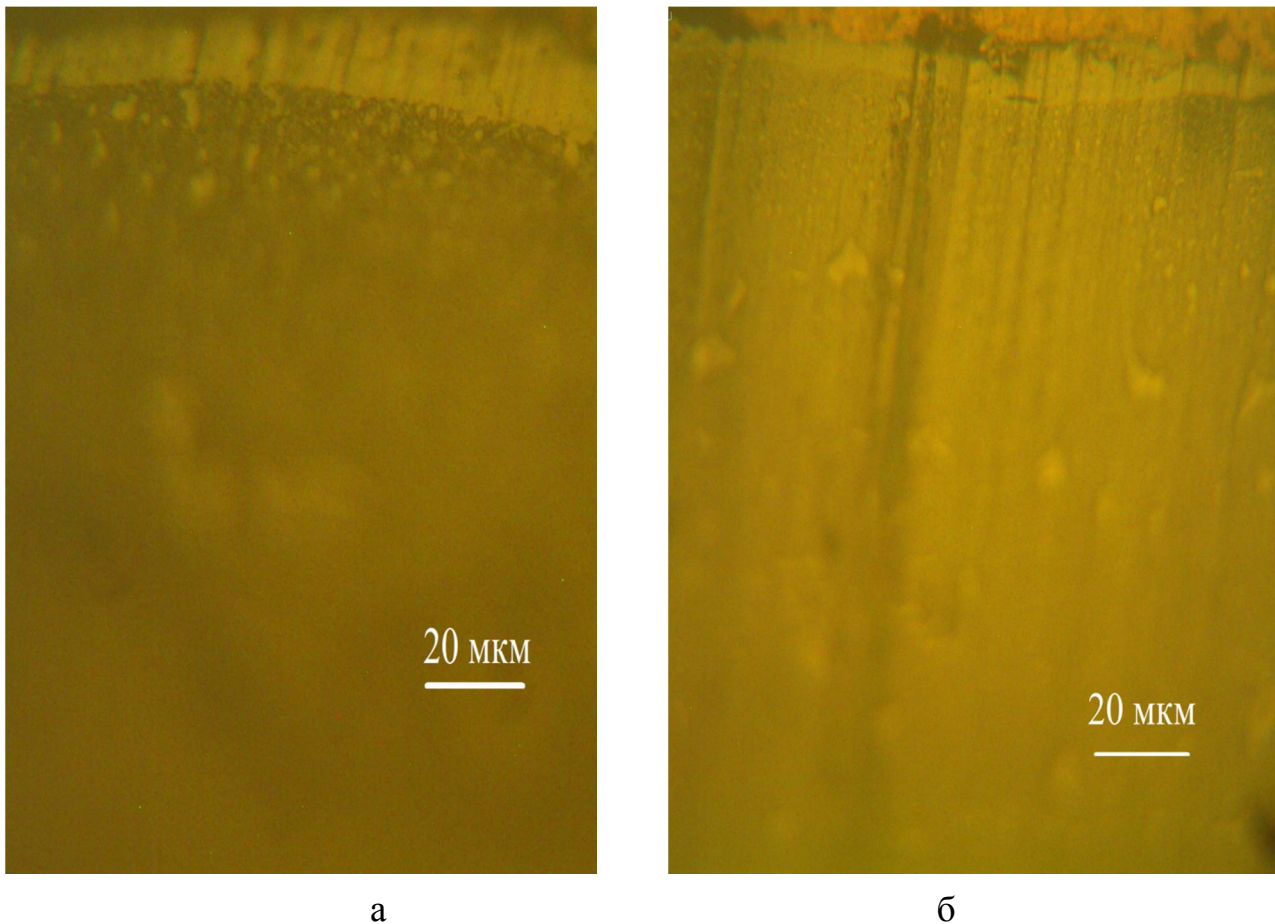
Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Х12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки

За даними металографічного аналізу можемо спостерігати, що легований шар має товщину 20 мкм. Після проведення ударної обробки товщина шару змінюється і становить 16 мкм. Також проведення ударної обробки впливає на більш рівномірний розподіл легovanого шару на поверхні сталі Х12МФ .



Початкова висота зразка становила 4,5 мм після ударної обробки вона зменшилась і становить 4,03 мм. Зміна висоти зразка становить 0,47 мм.

На рисунку 3.11 а, б зображено фотографії структури поверхневого шару зразків сталі Х12МФ після ЕІЛ при послідовності нанесення матеріалу електродів Cr-Co-Ti до та після проведення ударної обробки.



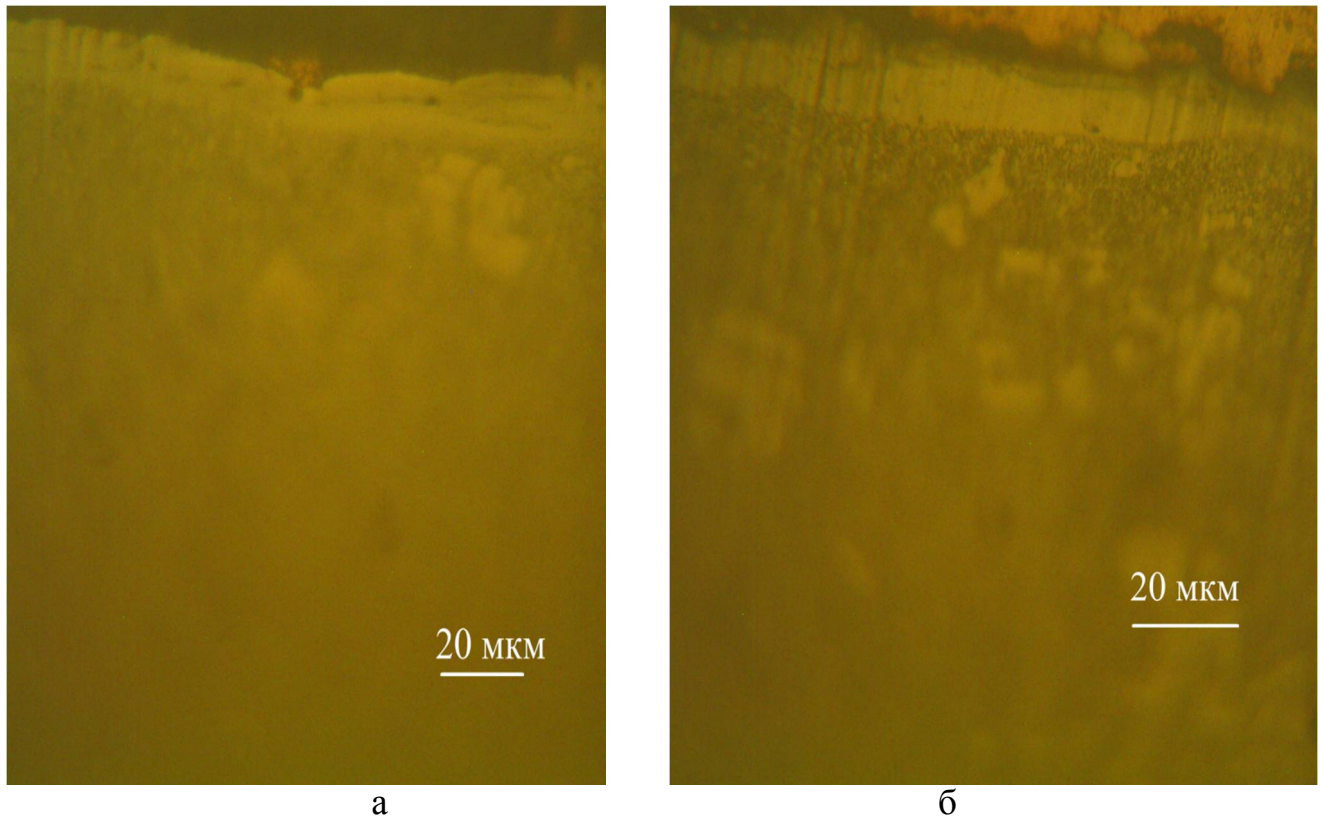
а – до ударної обробки; б – після ЕІЛ та ударної обробки

Рисунок 3.11 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Х12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки

За даними металографічного аналізу можемо спостерігати, що легований шар має товщину 18 мкм – 23 мкм. Після проведення ударної обробки товщина шару змінюється і становить 13 мкм – 18 мкм. Також проведення ударної обробки впливає на більш рівномірний розподіл легovanого шару на поверхні сталі

X12МФ .Початкова висота зразка становила 4,8 мм після ударної обробки вона зменшилась і становить 4,27 мм.Зміна висоти зразка становить 0,53 мм.

На рисунку 3.12 а, б зображено фотографії структури поверхневого шару зразків сталі X12МФ після ЕІЛ при послідовності нанесення матеріалу електродів Со-Сг-Ті до та після проведення ударної обробки.



а – до ударної обробки; б – після ЕІЛ та ударної обробки

Рисунок 3.12 – Мікроструктура поверхневої зони сталі X12МФ після електроіскрового легування та ударної обробки

За даними металографічного аналізу можемо спостерігати, що легований шар має товщину 18 мкм – 21 мкм. Після проведення ударної обробки товщина шару змінюється і становить 12 мкм – 16 мкм. Також проведення ударної обробки впливає на більш рівномірний розподіл легovanого шару на поверхні сталі X12МФ .Початкова висота зразка становила 4,7 мм після ударної обробки вона зменшилась і становить 4,25 мм.Зміна висоти зразка становить 0,45 мм.

На рисунку 3.13 зображена дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ після ЕІЛ та ударної обробки.

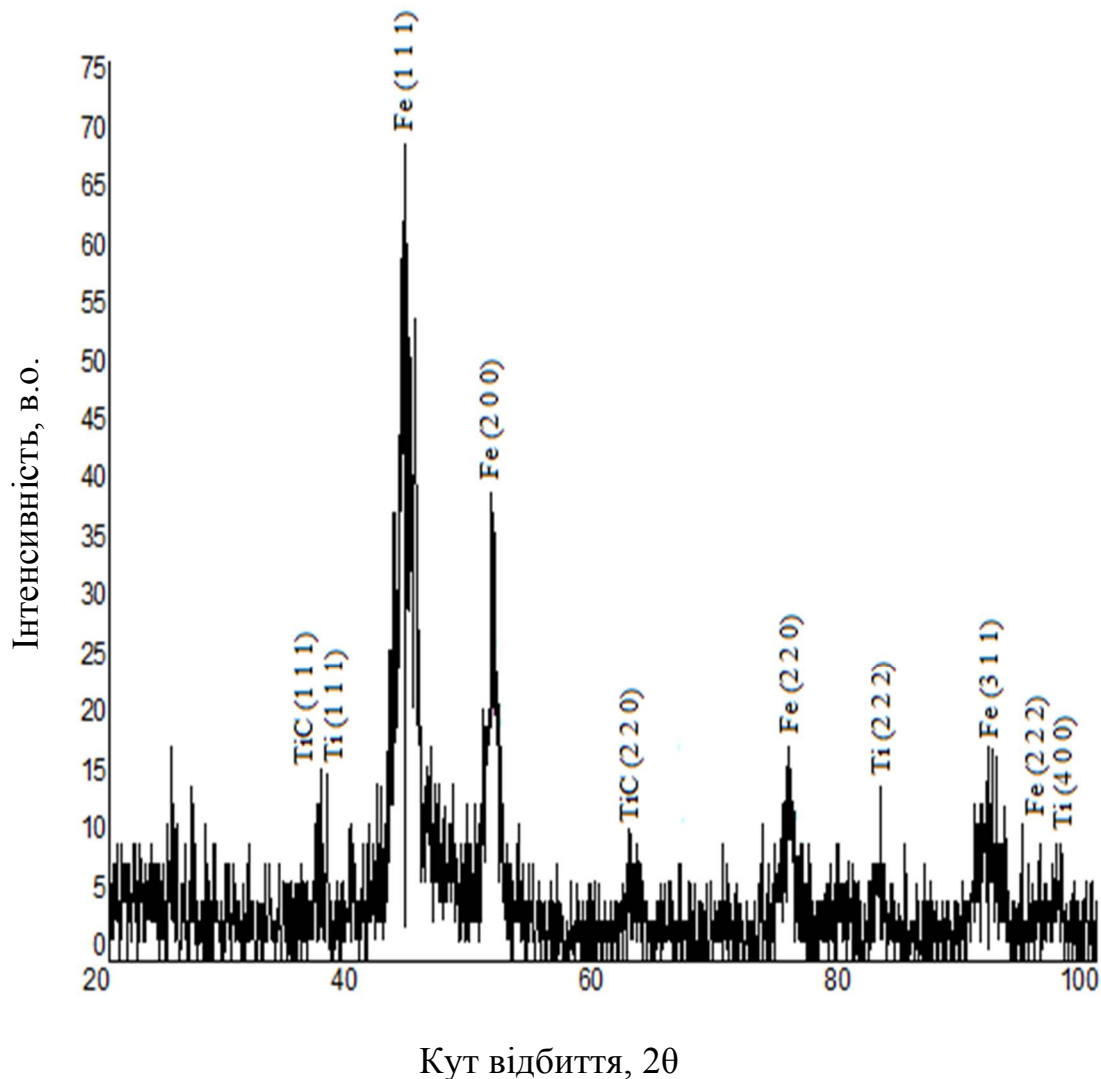


Рисунок 3.13 – Дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ після ЕІЛ в послідовності Fe-Cr-Ti та ударної обробки

Аналіз рентгенограми свідчить, що в процесі легування сталі X12МФ в послідовності Fe-Cr-Ti в поверхневому шарі зразка відбувається утворення фаз в яких присутні елементи які входять в склад аноду, катоду і оточуючого середовища. Присутній карбід титану, який утворюється при ЕІЛ на повітрі .

На рисунку 3.14 зображена дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ

після ЕІЛ та ударної обробки.

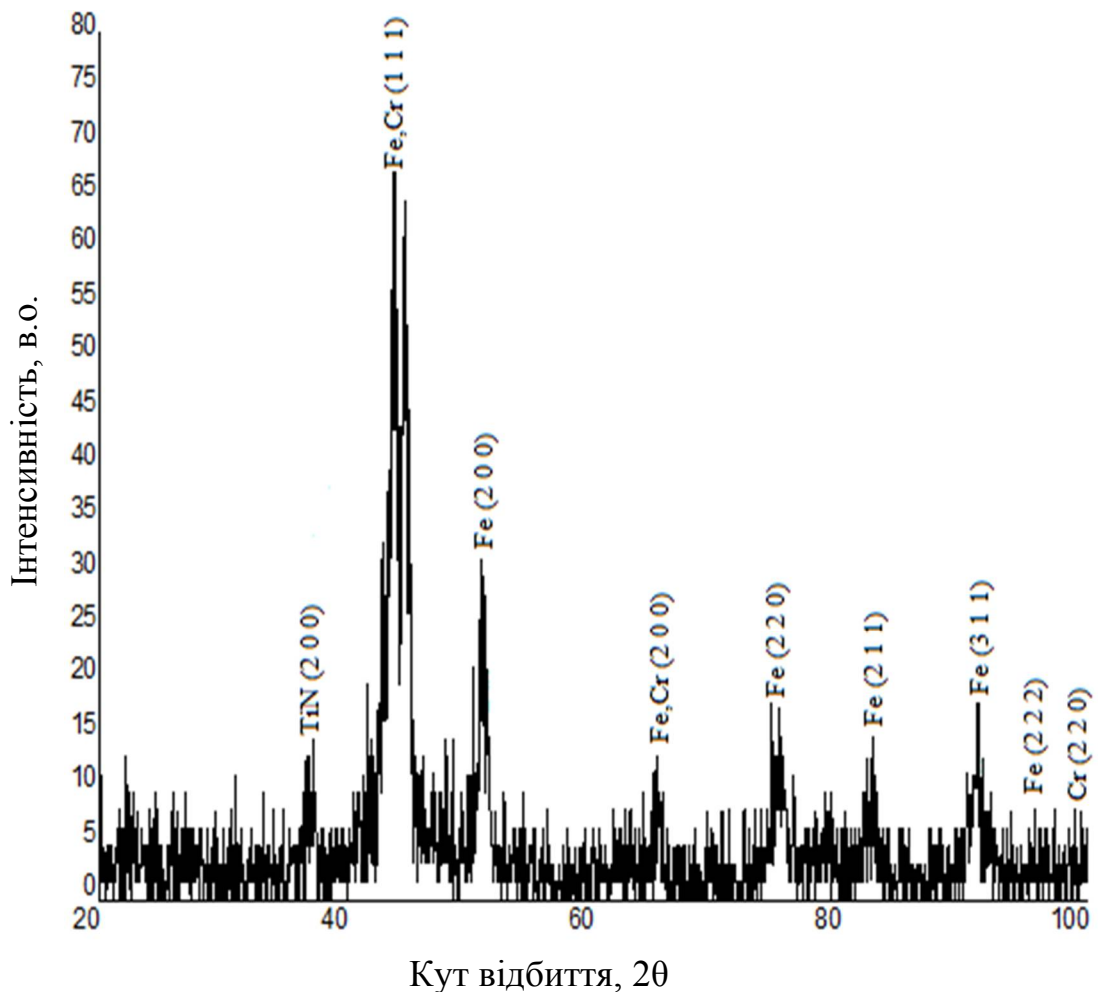


Рисунок 3.14 – Дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ після ЕІЛ в послідовності Cr-Fe-Ti та ударної обробки

Після механічного удару з тією ж енергією зразка з покриттям, одержаним під час ЕІЛ у послідовності Cr-Fe-Ti, зафіксовано твердий розчин  $\alpha$ -(Fe,Cr) з періодом  $2,8662 \text{ \AA}$  (рисунок 3.14). Наявність твердого розчину свідчить про інтенсивну взаємодію матеріалу основи з нанесеним хромом на першій стадії ЕІЛ.

Також зафіксовано утворення нітриду титану, що утворюється внаслідок ЕІЛ на повітрі.

На рисунку 3.15 зображена дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ після ЕІЛ та ударної обробки.

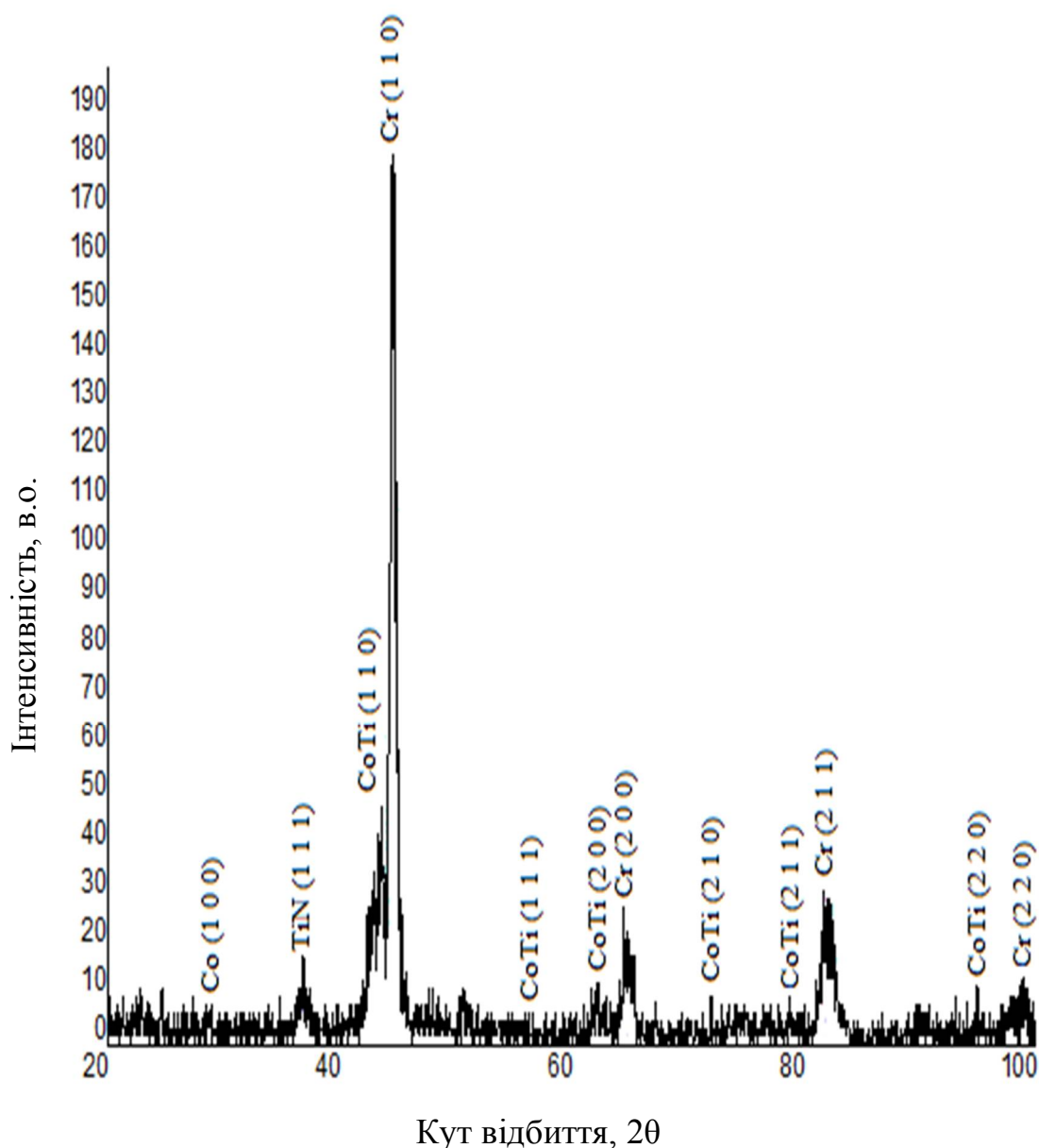


Рисунок 3.15 – Дифрактограма поверхневої зони сталі X12МФ після ЕІЛ в послідовності Co-Cr-Ti та ударної обробки

Після механічного удару з тією ж енергією зразка з покриттям, одержаним під час ЕІЛ у послідовності Co-Cr-Ti, зафіксовано інтерметалід CoTi (рисунок 3.15). Наявність інтерметаліду свідчить про інтенсивну взаємодію матеріалу основи з нанесеним кобальтом на першій стадії ЕІЛ. Також зафіксовано утворення нітридів титану.

### 3.3 Вплив ударної обробки на мікротвердість зразків сталі X12МФ після проведення електроіскрової обробки

В даній роботі ударна обробка зразків сталі X12МФ з нанесеними (Fe-Cr-Ti, Cr-Fe-Ti, Cr-Co-Ti та Co-Cr-Ti) покриттями проводилася на установці УСМ-1. Вантаж масою 10,5 кг мав вільне падіння з висоти 1,75 м та завдавав пластичної деформації зразкам. При цьому на зразки діяла енергія удару при падінні з висоти 1,75 м – 180 Дж. В момент зіткнення зі зразком швидкість вантажу складала 5,8 м/с.

Параметри ударної обробки зразків сталі X12МФ з електроіскровим покриттям наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри зразків сталі X12МФ після комбінованої обробки (ЕІЛ та механічного удару)

№	Матеріал покриття	Висота падіння вантажу, м	Енергія удару, Дж	Початкова висота зразка $h_0$ , мм	Висота зразка після деформації $h_\epsilon$ , мм	Ступінь деформації, $\epsilon$
1	Fe-Cr-Ti	1,75	180	4,73	4,32	0,09
2	Cr-Fe-Ti	1,75	180	4,5	4,03	0,10
3	Cr-Co-Ti	1,75	180	4,8	4,27	0,11
4	Co-Cr-Ti	1,75	180	4,7	4,25	0,10

З таблиці 3.1 видно, що послідовність попереднього ЕІЛ суттєвого значення не має. Хоча значення  $\epsilon$  для (Cr-Co-Ti та Co-Cr-Ti) покриттів трохи нижче, ніж для (Fe-Cr-Ti та Cr-Fe-Ti).

На рис.3.16 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після



нанесення покриття Fe-Cr-Ti та ударної обробки. Товщина покриття 10 мкм – 12 мкм.

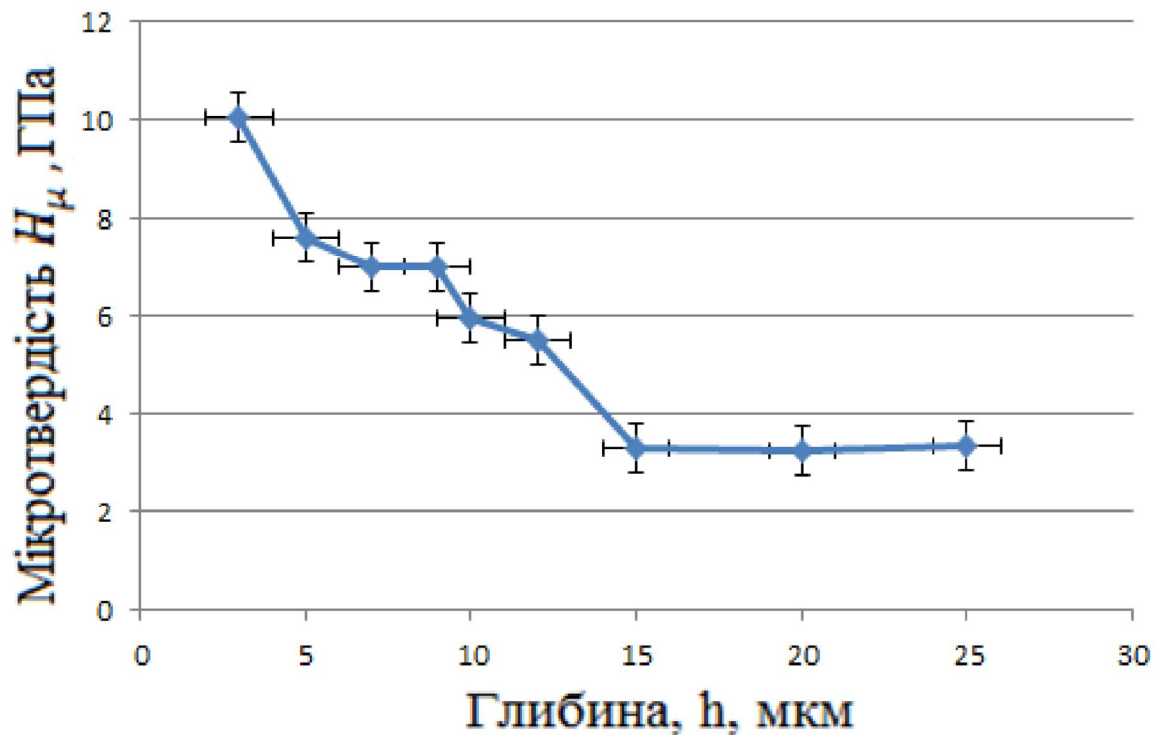


Рисунок 3.16 – Розподіл мікротвердості зразка сталі X12МФ після ЕІЛ Fe-Cr-Ti та ударної обробки

З даного графіку бачимо, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Зразок після електроіскрового легування має максимальну мікротвердість 10,07 ГПа, надалі значення зменшуються і коливаються в інтервалі від 7,62 ГПа до 5,53 ГПа до глибини 12 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. У порівнянні з мікротвердістю до ударної обробки коефіцієнт зміцнення збільшився з 2,77 до 3,64.

На рис.3.17 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після нанесення покриття Cr-Fe-Ti та ударної обробки. Товщина покриття 16 мкм.

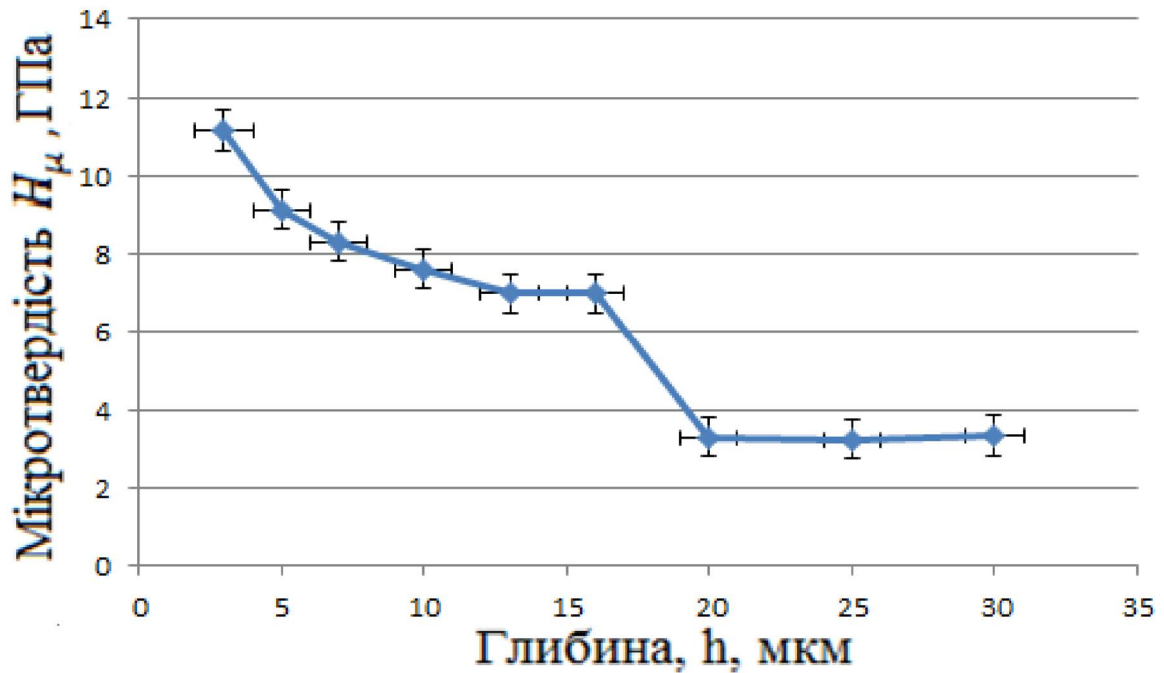


Рисунок 3.17 – Розподіл мікротвердості зразка сталі X12МФ після ЕІЛ Cr-Fe-Ti та ударної обробки

Аналізуючи представлений графік бачимо значне збільшення мікротвердості після електроіскрової обробки. Значення максимальної мікротвердості 11,16 ГПа, надалі значення зменшуються і коливаються в інтервалі від 9,14 ГПа до 6,99 ГПа до глибини 16мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. У порівнянні з мікротвердістю до ударної обробки коефіцієнт зміцнення збільшився з 2,12 до 3,38.

На рис.3.18 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після нанесення покриття Cr-Co-Ti та ударної обробки. Товщина покриття 13 мкм – 18 мкм.



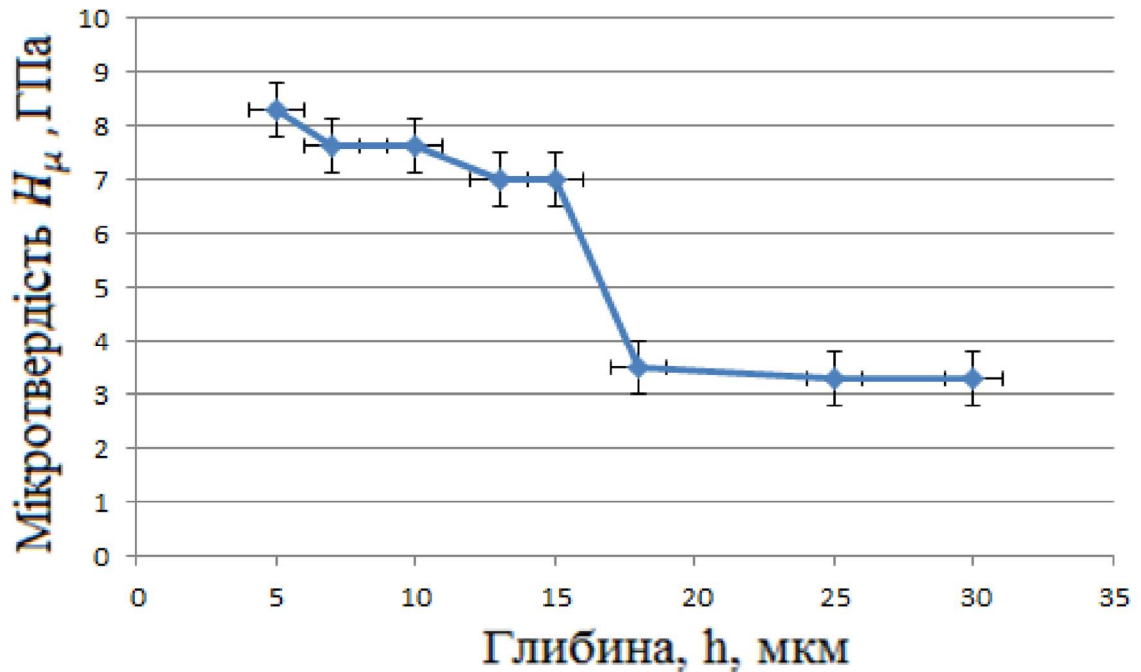


Рисунок 3.18 – Розподіл мікротвердості зразка сталі X12МФ після ЕІЛ Cr-Co-Ti та ударної обробки

Аналіз представленого графіка свідчить про те, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Зразок після ЕІЛ має максимальну міцність 8,32 ГПа, надалі значення зменшуються і знаходяться в інтервалі від 7,62 ГПа до 6,99 ГПа до глибини 18 мкм. У порівнянні з мікротвердістю до ударної обробки значення коливаються в інтервалі від 7,62 ГПа до 6,99 ГПа так як до ударної обробки значення знаходились в інтервалі від 6,7 ГПа до 5,53 ГПа це свідчить про збільшення мікротвердості після ударної обробки.

На рис.3.19 представлений графік, що характеризує рівень мікротвердості на поверхні та з подальшим заглибленням всередину зразка сталі X12МФ після нанесення покриття Co-Cr-Ti та ударної обробки. Товщина покриття 12 мкм – 16 мкм.

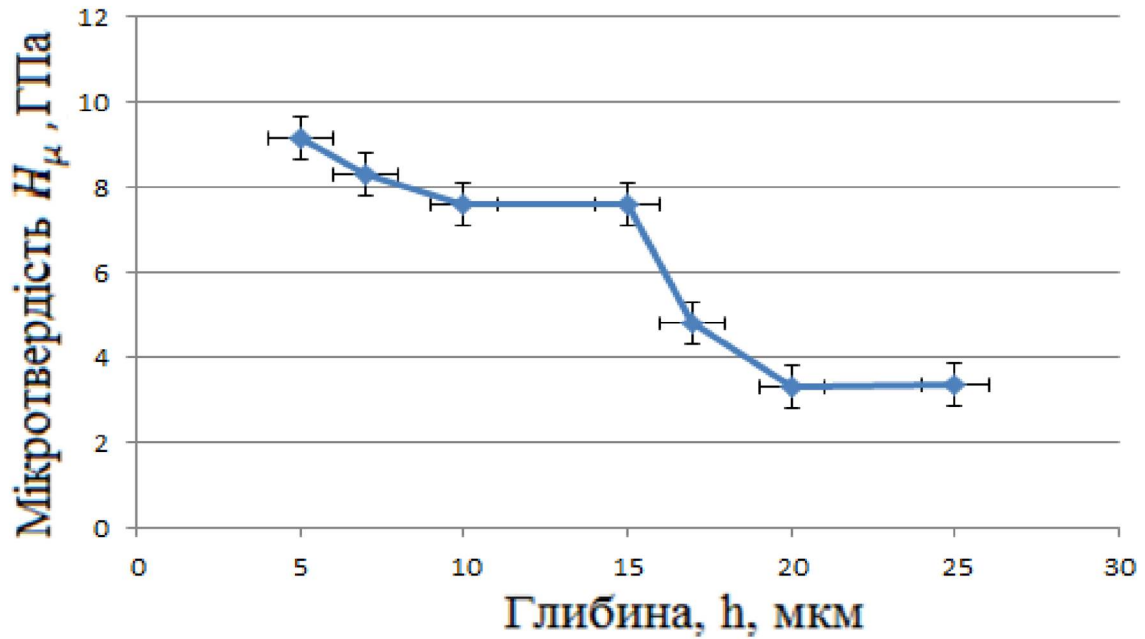


Рисунок 3.19 – Розподіл мікротвердості зразка сталі X12МФ після ЕІЛ Co-Cr-Ti та ударної обробки

З даного графіку бачимо, що електроіскрове легування суттєво підвищує мікротвердість. Зразок після електроіскрового легування має максимальну міцність 9,14 ГПа, надалі значення зменшуються і коливаються в інтервалі від 8,32 ГПа до 7,62 ГПа до глибини 16 мкм, після неї мікротвердість набуває значення основи 3,3 ГПа. У порівнянні з мікротвердістю до ударної обробки значення коливаються в інтервалі від 8,32 ГПа до 7,62 ГПа так як до ударної обробки значення знаходились в інтервалі від 6,45 ГПа до 3,7 ГПа це свідчить про збільшення мікротвердості після ударної обробки.

### 3.4 Висновки до розділу 3

1. Встановлена можливість поверхневого зміцнення сталі X12МФ комплексною обробкою, що включала послідовне електроіскрове легування з наступним механічним ударом .

2. Встановлено, що товщина легованого шару після ЕІЛ (Fe-Cr-Ti, Cr-Fe-Ti, Cr-Co-Ti та Co-Cr-Ti) складає 15 мкм - 23 мкм незалежно від послідовності легування. При цьому максимальна мікротвердість покриттів становить 12,43 ГПа.

3. Ударна обробка електроіскрових покриттів на поверхні сталі X12МФ, приводить до зменшення товщини шару на (7-15) мкм при ступені деформації (0,09- 0,11).

## **4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ**

### **4.1 Актуальність**

В останні роки великого поширення серед організацій-початківців і різних об'єднань молодих вчених набули startup-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія (можливо, навіть не є ще юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися [39]. Для стартапу характерні: обмеженість початкових інвестицій; швидкий розвиток; низькі шанси на успіх [40]. Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою.

Для задоволення потреби машинобудування, металообробки та інших галузей в металорізальному інструменті, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних марок сталі, що застосовуються при виготовленні інструменту і деталей машин, необхідно ширше використовувати різні функціональні покриття. Вони можуть забезпечити довговічності та надійності деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації, шляхом зміцнення поверхневого шару виробів. [8].

### **4.2 Мета і завдання стартап проекту**

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки

глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

### 4.3 Опис ідеї проекту

В межах підпункту було послідовно проаналізовано певні ідеї стартап проекту (таблиця 4.1), а саме:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту [41]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка захисного покриття на металевих корпусах (корпус телефона, ноутбука, тощо)	1) Електропровідне захисне покриття для електроніки	1) Низька тривалість процесу та висока продуктивність; 2) Простота процесу; 3) Дешевизна процесу; 4) Екологічна чистота процесу. 5) Зміцнене надтонке покриття.
	2) Зносостійке, антикорозійне покриття на металевому корпусі	
	3) Відновлення попередньо легованих металевих пластин	
	4) Штамповка візерунків на попередньо легованому металі	

#### 4.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Головна ідея зміцнення деталей представлена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту [41]

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Штамування захисного зміцненого, тонкого шару	Ерозія матеріалу аноду на поверхню матеріалу при ЕІЛ та наступна ударна обробка (штамповка); нанесення захисного антикорозійного лаку	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не завдасть жодних перешкод, адже дана технологія існує на ринку та доступна для реалізації.

#### 4.4 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Планова собівартість виконання дослідження, як один з найважливіших економічних показників, відображає рівень матеріальних та трудових витрат, а її планування забезпечує отримання необхідних результатів при мінімальних витратах. Обчислення собівартості дослідження здійснюється за наступними калькуляційними статтями:

- 1) витрати на основні матеріали;
- 2) витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;

- 3) витрати на заробітну платню персоналу;
- 4) відрахування в соцстрах;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) витрати на послуги сторонніх організацій;
- 7) інші невраховані прямі витрати по темі;
- 8) накладні витрати.

#### 4.4.1 Витрати на основні матеріали

Витрати на основні і допоміжні матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1. Чистий Ti	кг.	0,1	4840	484
2. Чистий Cr	кг.	0,03	900	27
4. Фенольна смола	кг.	0,1	150	15
5. Шліфувальний папір	шт.	2	35	70
6. Спирт Етиловий 96%	літр	0.1	150	15
7. Сульфатна кислота	літр	0,03	210	6,3
В цілому				617,3

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 25% від ринкової вартості:

$$617,3 \cdot 0,25 = 154,325 \text{ грн.}$$

Повна сума витрат на матеріали:  $617,3 + 154,3 = 771,6$  грн.

#### 4.4.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на обладнанні, що є в наявності на кафедрі ФК надається магістрантам безкоштовно, тому дані витрати можна віднести до накладних витрат. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносяться до накладних витрат.

#### 4.4.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Денна заробітна плата виконавців наведена в (табл. 4.4) визначається, виходячи з місячних окладів при умові, що середня кількість робочих днів в місяць – 22.

Таблиця 4.4 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Відповідальний виконавець теми, Фахівець в даній галузі	12100	550
Інженер-експериментатор	7040	320
Робочий	5500	250



Тривалість окремих етапів виконання дослідження наведена в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідницької роботи

Етапи дослідження	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми	Інженер-експ.	Робочий
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	2	2	-
2. Вивчення літератури	-	9	-
3. Розробка методики проведення робіт	9	12	5
4. Підготування зразків	-	-	3
5. Підготовка обладнання	-	3	5
6. Проведення експериментів	-	8	9
7. Обробка експериментальних результатів	-	12	4
8. Обговорення результатів	5	6	7
9. Оформлення результатів	8	12	3
Разом	24	64	36

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні:  $\text{ПФЗ} + \text{ДФЗП} = 42\,680 + 12\,804 = 55\,484$  грн.

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трудомісткості на денну заробітну платню виконавця:  $\text{ПФЗП} = 24 \cdot 550 + 64 \cdot 320 + 36 \cdot 250 = 42\,680$  грн.

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30% від прямого фонду:  $\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 12\,804$  грн.

#### **4.4.4 Відрахування на соціальні заходи**

Відрахування на соціальні заходи складають 22% від повного фонду заробітної плати.

Таким чином, відрахування на соціальні заходи складуть:  $V_c = (\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП}) \cdot 0,22 = 55\,484 \cdot 0,22 = 12\,206$  грн.

#### **4.4.5 Витрати на службові відрядження**

Згідно з планом та тривалістю даного дослідження службові відрядження не передбачаються.

#### **4.4.6 Витрати на послуги сторонніх організацій**

Згідно з планом даного дослідження послуги сторонніх організацій не передбачаються.

#### **4.4.7 Інші прямі невраховані витрати**

Інші прямі невраховані витрати становлять 10 % від суми витрат на

заробітну плату, суми відрахувань до єдиного соціального внеску, витрат на матеріали:  $P_n = (55\,484 + 12\,206 + 617,3) \cdot 0,1 = 6\,830,73$  грн.

#### **4.4.8 Накладні витрати**

Сумарна величина накладних витрат включає в себе наступні статті:

- а) заробітна плата адміністративно-управлінського, господарського та допоміжного персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати по допоміжному виробництву;
- в) витрати по утриманню та експлуатації виробничих площ;
- г) вартість придбання та витрати на утримання та експлуатації устаткування та приладів універсального характеру;
- д) витрати по охороні праці та техніці безпеки;
- е) витрати на підготовку кадрів;
- ж) витрати на силову електроенергію;
- з) інші витрати.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20% від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи:  $H_b = 42\,680 \cdot 0,2 = 8\,536$  грн.

#### **4.4.9 Планова кошторисна вартість дослідження**

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання дослідження. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Планова кошторисна вартість дослідження

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	55 484	66,3%	За розрахунком
Відрахування на соціальні заходи	$B_c$	12 206	14,58%	22% від ЗП
Витрати на матеріали	$C_m$	617,3	0,73%	За розрахунком
Витрати на обладнання	$C_{\text{об}}$	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	$C_v$	-	-	Не планується
Роботи та послуги сторонніх організацій	$C_i$	-	-	Не планується
Інші невраховані прямі витрати по темі	$P_n$	6 830,7	8,16%	10% від врахованих прямих витрат
Накладні витрати	$H_v$	8 536	10,20%	20 % від основної заробітної плати
Разом	$Z$	83 674	100%	-

#### 4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [42].

Кількість збутої продукції за день в середньому складає 50 штук. На місяць припадає 21 день, отже підрахуємо середнє значення всієї збутої продукції за місяць:  $500 \times 20 \times 21 = 525000$  грн без податків та інших обов'язкових платежів. Усі

підрахунки та перспективи реалізації стартап проекту наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап – проекту [42]

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	500
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	52500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Досить важко територіально знайти місце з мінімальною кількістю конкурентів; Важко знайти постачальників сировинної продукції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	14%

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (14 %). З 26.05.2017 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 12,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Характеристика потенційних клієнтів стартап – проекту [42]

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Уникнення внутрішніх пошкоджень техніки (механічні, термічні, корозійні)	Побутова техніка (корпуси телефонів, ноутбуків, тощо)	-новітня техніка та технології, які застосовуються; -швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; -кваліфікований персонал; -гарантія якості; -надійність, висока міцність, корозійна здатність	<ul style="list-style-type: none"> <li>●якість;</li> <li>●допустима собівартість;</li> <li>●надання чітких гарантій;</li> <li>●швидкість виконання</li> </ul>

З таблиці 4.8 можемо спостерігати, що для запровадження стартап-проекту необхідно мати відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів, а саме новітню техніку і технології, які потрібно розвивати з напливом кількості цільової групи.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості. Усі фактори загроз вказані у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Фактори загроз [43]

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток.	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань;
3	Відсутність можливості отримання знижок при закупівлях внаслідок невеликих обсягів	Велика вартість на закупівлю сировинної продукції та малий ринок збуту готової	<ul style="list-style-type: none"> <li>- втрати ліквідності;</li> <li>- втрати платоспроможності;</li> <li>- втрати фінансової рівноваги;</li> </ul>
4	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	<ul style="list-style-type: none"> <li>- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації;</li> <li>- скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.</li> </ul>

Для визначення потенційних клієнтів важливо провести аналіз фактору можливостей, та визначити сильні сторони проекту наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Фактори можливостей [44]

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування високо кваліфікаційних спеціалістів; Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- Конкурент, що вже є у галузі;
- Потенційні конкуренти;



- Наявність товарів-замінників;
- Постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- Споживачі.

Таким чином, ми визначили середні значення впливу появи нових конкурентів, сили впливу товарів-замінників, сили впливу покупців, сили впливу постачальників, інтенсивності конкуренції між фірмами [44].

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей) (табл. 4.11) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару.

Таблиця 4.11 – SWOT - аналіз стартап – проекту [44]

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
<ul style="list-style-type: none"> <li>● молодий і кваліфікований колектив;</li> <li>● порівняно недорогі початкові матеріали;</li> <li>● дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі;</li> <li>● послуга дешевша наявних на ринку аналогів;</li> <li>● для впровадження послуги потрібно відносно мало затрат.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● брак власного устаткування;</li> <li>● додаткові транспортні витрати;</li> <li>● наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.</li> </ul>

Продовження таблиці 4.11

Можливості (О):	Загрози (Т):
<ul style="list-style-type: none"> <li>● посилення позиції на ринку;</li> <li>● вихід на нові сегменти ринку;</li> <li>● збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах;</li> <li>● підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● зростаюче конкурентний тиск;</li> <li>● швидке копіювання конкурентами;</li> <li>● поява нових конкурентів з товарами-замінниками;</li> <li>● захоплені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.</li> </ul>

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод поверхневої обробки деталей дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію [43].

#### 4.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці).

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення

товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- Проникнення на ринок;
- Розвиток ринку;
- Розробка товару;
- Диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації [44].

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції компанія буде на вигідних умовах буде забивати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

#### 4.7 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який

отримає споживач. Для цього у таблиці 4.13 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [45].

Таблиця 4.13 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Зміцнення металевих корпусів телефонів	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Комбінований метод обробки поверхні, що призведе до більшої міцності; швидкість обробки.

Задля розроблення маркетингової стратегії варто зробити опис трьох рівнів моделі послуги. Послуга за задумом передбачає зміцнення металевих корпусів електроніки, що дозволить збільшити його зносостійкість, та стійкість до впливу навколишнього середовища.

Характеристики: товщина легованого шару (30-100) мкм, загальна товщина корпусів після удару – (0,1-1) мм; збільшення мікротвердості, зносостійкості, корозійної стійкості; не впливає на загальну масу корпусу.

До переваг серед конкурентів, можна віднести попередньо легований шар на поверхню металевих корпусів перед процесом штамповки, який збільшить мікротвердість у (2-4) рази. Дешевизна процесу, адже технологія є досить простою у порівнянні з конкурентами ціна на продукцію зменшиться у 1,5 рази.

#### 4.8 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах [44].

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами [46].

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів. Оцінка конкурентного середовища діяльності компанії наведена в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Оцінка конкурентного середовища діяльності компанії [46]

Конкурентні сили	Фактор	Стан фактору	Оцінка фактору в балах		
			11	22	33
1	2	3	4		
1.Проникнення нових конкурентів	1.1. Рівень вхідного бар'єру	Значна економія на масштабах збуту		x	
		Високий рівень фінансових інвестицій			x
		Низький ступінь диференціації продукції	x		
		Консерватизм існуючої системи поставок		x	
		Необхідність залучення постійних покупців			x
	1.2. Реакція діючих підприємств на появу нових конкурентів	Відсутність активної маркетингової політики	x		
		Низька інноваційна активність управління персоналом	x		
		Слабке використання методів ведення конкурентної боротьби		x	
	Середнє значення впливу появи нових конкурентів (I <sub>нк</sub> )			1,88	

Продовження таблиці 4.14

1	2	3	4		
2.Поява товарів-замінників	2.1. Вплив товарів - замінників	Перевагу отримує товар з нижчою ціною		x	
		Тенденції до реалізації дешевшого і менш якісного товару		x	
		Відсутність суттєвих розбіжностей в асортименті основних конкурентів	x		
	2.2.Протизаконна імітація існуючих виробів	Поява великої кількості товарів - замінників, отриманих в результаті дублювання відомих марок	x		
Середнє значення сили впливу товарів-замінників ( $I_{ТЗ}$ )			1,5		
3.Конкурсна сила покупців	3.1. Вплив покупців на конкурентні позиції підприємства	Високий ступінь організації споживачів		x	
		Великі можливості покупців у виборі товарів-аналогів		x	
		Високий ступінь стандартизації продукції			x
		Висока мінливість смаків і вподобань споживачів по відношенню до товарів підприємства	x		
	3.2. Торговельна сила споживачів	Зростання рівня інформованості покупців про товари			x
		Висока цінова еластичність товару		x	
Середнє значення сили впливу покупців ( $I_{пок}$ )			2,2		

Закінчення таблиці 4.14

1	2	3	4		
4.Конкурентна сила постачальників	4.1 Вплив постачальників на конкурентні позиції підприємства	Обмежені можливості підприємства у виборі постачальників			x
		Тенденції до скорочення тривалості господарських зв'язків	x		
		Низька вартість переходу до іншого постачальника	x		
	4.2. Обмеження ресурсного потенціалу фірми	Відсутність власних оборотних коштів	x		
Середнє значення сили впливу постачальників ( $I_{\text{пост}}$ )			1,5		
5.	5.1. Ступінь інтенсивності конкуренції	Узагальнюючий показник інтенсивності конкуренції			x
Конкуренція між існуючими на ринку фірмами		Наявність великої кількості малих підприємств - конкурентів			x
		Сильними конкурентами є невеликі ринки			x
		Незначний приріст попиту на товар підприємства		x	
	5.2. Конкурентні позиції досліджуваної фірми	Вдале місце розташування фірми		x	
		Відсутні дослідження конкурентів	x		
		Досліджені конкуренти фактично не мають сильних конкурентних переваг	x		
Середнє значення інтенсивності конкуренції між фірмами ( $I_k$ )			2,14		



#### **4.9 Висновки до розділу 4**

1. Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Дана комбінована обробка дозволить значно підвищити міцність та зносостійкість деталі. Також вихід більш дешевого та якісного покриття відразу приверне увагу користувачів.

2. При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап - проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Безпека праці, як галузь практичної діяльності, спрямована на створення безпечних і нешкідливих умов праці. На сучасному етапі розвитку виробництва вона набуває все більш важливого значення.

Створення безпечних і нешкідливих умов праці на виробництві вимагає значних матеріальних витрат, впровадження знань і рішень науково-дослідних робіт в галузі охорони праці. Поки поміж тим, що ми знаємо про методи і засоби охорони праці, і тим, що реалізовано на виробництві, різниця все ще велика. Звести цю різницю до мінімуму повинні професійно підготовлені фахівці не тільки в галузі екології та охорони навколишнього середовища, але й в галузі забезпечення безпечних, нешкідливих, здорових умов праці на виробництві. Тому роль знань з питань охорони праці інженерно-технічними працівниками має дуже велике значення. Основні знання з питань охорони праці закладаються у процесі навчання майбутніх фахівців [47].

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [48].

Основні положення про охорону праці визначені конституцією України, законом України «Про охорону праці» та іншими законодавчими і нормативно-технічними актами.

Умови виконання науково-дослідницької роботи повинні гарантувати безпечність умов праці інженера-дослідника. Сучасні методи дослідження обладнання наукових лабораторій повинні виключати можливість травмування робітників, створювати нормальні умови праці, усувати вплив шкідливих факторів, що призводять до виникнення професійних хвороб. Правильний розрахунок і організація заходів по усуненню дії шкідливих факторів на організм

людини є одним з основних елементів, які повинні розроблятися на самому початку науково - дослідницької роботи, оскільки від цього залежить здоров'я та ефективність роботи персоналу.

Метою цього розділу є аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, за яких виникає небезпека ураження організму, та які можуть призвести до травмування в процесі дослідження впливу ЕІЛ та ударної обробки на структуру та властивості електроіскрових покриттів на сталі Х12МФ, а також забезпечення безпеки в разі надзвичайної ситуації.

Під час виконання дипломної роботи є потенційна небезпека отримання таких травмувань: механічні (удари, порізи), теплові (опіки), електричні.

### 5.1 Аналіз параметрів приміщення

Робота виконувалася на кафедрі фізики металів (КПІ ім. Ігоря Сікорського) в лабораторії електроіскрового легування (ЕІЛ) № 036. Схематичне зображення лабораторії, а також розташування всіх елементів представлено на рисунку 5.1. Було проведено вимірювання приміщення лабораторії, які наведені таблиці 5.1. Вся робота проводилася в лабораторії № 036 (А), тому для розрахунків була обрана дана кімната.

Таблиця 5.1 – Параметри науково–дослідної лабораторії

Характеристика	Виміряні дані
Довжина, м	4
Ширина, м	2,8
Висота, м	3,8

Проведемо розрахунки площі та об'єму:

$$\text{Площа лабораторії складає: } S = a \cdot b = 4 \cdot 2,8 = 11,2 \text{ м}^2$$

Об'єм лабораторії складає:  $V = a \cdot b \cdot c = 4,2 \cdot 3,8 = 42,56 \text{ м}^3$

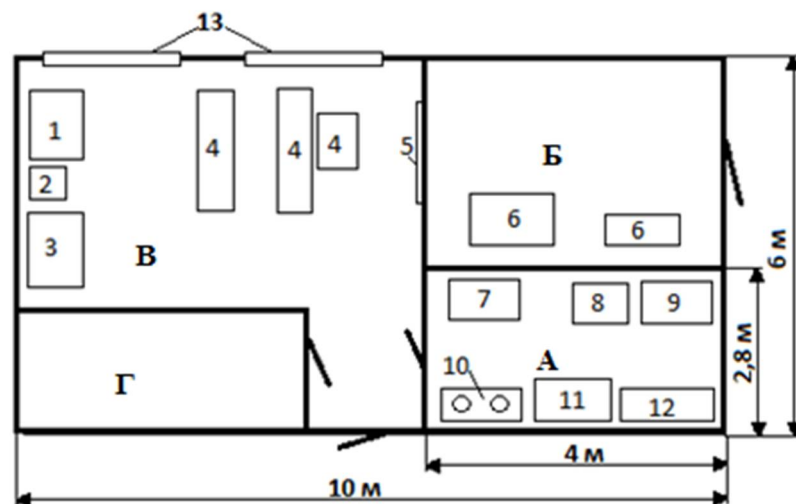
Згідно зі ДБН В.2.2 -15-2015 [49] норма площі на одну особу становить  $4,5 \text{ м}^2$ , а норма об'єму приміщення на одну особу –  $15 \text{ м}^3$ .

Розрахуємо площу та об'єм на одну особу для даної аудиторії, за умовою, що кількість працюючих становить дві особи:

$$S_p = 11,2 / 2 = 5,6 \text{ м}^2;$$

$$V_p = 42,56 / 2 = 21,28 \text{ м}^3$$

Тобто, лабораторія 036 (А) - 9, згідно з СНиП 2.09.02-85 [49], відповідає нормам.



1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 – комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – рентгенівська установка УРС-2, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання зносостійкості, 9 – прилад «Елитрон – 26», 10 – полірувальні круги, 11 – стіл, 12 – шафа, 13 – вікна

Рисунок 5.1 – Схема лабораторії електроіскрового легування 036-9

Для підтримання працездатності людини на робочому місці важливу роль відіграє мікроклімат, за якими встановлюються оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря залежно від важкості виконуваних робіт та пори року [50].

Розрізняють такі категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої

важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ.

При виконанні НДР, роботи за важкістю відносяться до категорії Іб (легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або зв'язані з ходьбою і не потребують важких систематичних фізичних навантажень).

Результати дослідження і нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 036(А) наведені в табл. 5.2.

В приміщенні науково-дослідницької лабораторії використовується водяне опалення та природна вентиляція.

Таблиця 5.2 – Величина параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 036 (А)

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/м	
	Вимі- ряна	Допусти- ма	Вимі- ряна	Допустима	Вимі- ряна	Допустима
Холод- ний	23	20...24	68	<75	0,17	<0,2
Теплий	25	21...28	51	55 – при 28 С° 60 – при 27 С° 65 – при 26 С° 70 – при 25 С° 75 – при 24 С° і нижче	0,28	0,1...0,3

На основі отриманих даних можна сказати, що мікроклімат в лабораторії 036(А) відповідає вимогам санітарних норм.

## **5.2 Освітлення**

Згідно норм ДБН В.2.5.28-2006 освітлення має бути 200 лк.

Близько 90% всієї інформації, що отримується людиною, приходить на органи зору. Організація освітленості робочих місць грає велику роль у житті людини. Недостатнє та нераціональне освітлення веде до втомлення очей, розладу центральної нервової системи, зниженню розумової та фізичної працездатності, а у ряді випадків може бути причиною травматизму (близько 5% травм приходить на частку нераціонального та недостатнього освітлення). При недостатній чи швидко змінюваній освітленості органам зору приходить пристосовуватись, це можливо завдяки властивостям очей - аккомодатії, адаптації та конвергенції.

В лабораторії 036(A) використовується система штучного освітлення. Для загального освітлення використовуються люмінесцентні лампи ЛБ-40, в кількості 3 одиниць.

### **5.2.1 Аналіз штучного освітлення**

Штучне освітлення необхідно застосовувати у всіх виробничих чи побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, і також для освітлення приміщень в темний час доби. Мінімальна освітленість встановлюється залежно від характеру зорової роботи за найменшим розміром об'єкта розрізнення, контрастом об'єкта з фоном і характеристикою фону. Враховується система робочого освітлення (загальне або комбіноване) та джерела світла (лампи розжарювання або газорозрядні) [51].

Згідно норм ДБН В.2.5.28-2006 освітлення має бути 200 лк. Дане значення не перевищує норму, а отже, штучне освітлення не є недостатнім.

### 5.3 Вплив шуму

Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елітрон-26А», полірувальних кругах, приладі для вимірюванні зносостійкості. Дані прилади створюють шум в аудиторії.

Найбільш ефективний засіб боротьби з шумом зниження його в джерелі створення: заміна шумних технологічних процесів або обладнання мал шумними, звуковбирання та звукоізоляція, екранування, оснащення шумних машин засобами дистанційного та автоматичного управління, застосування засобів індивідуального захисту. Фактичний шум від приладів складає 110 дБА. Нормування здійснюється відповідно з ДСН 3.3.6-037-99. Оскільки шум в лабораторії перевищує встановлені норми в 75 дБА, то для загального захисту від шуму використовували спеціальні звукозахисні навушники.

### 5.4 Електробезпека

Обладнання, яке використовується при виконанні науково-дослідної роботи, електричне, живиться від мережі перемінного струму напругою 220 В. Воно відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності з ГОСТ 12.1.030-81. «Елітрон -26», ПМТ-3 та полірувальні круги мають підсилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення (II клас). В процесі роботи з електрообладнанням може виникнути небезпека враження електричним струмом [55].

Основними причинами ураження електричним струмом можуть бути:

- 1) пошкодження ізоляції (наприклад, розплавленим металом) та, як наслідок, доступність до струмопровідних частин обладнання;
- 2) поява напруги на відключених струмоведучих частинах внаслідок помилкового включення установки;

- 3) невиконання або неправильне виконання вимог техніки електробезпеки, неухважність при роботі.

Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції, недоступністю струмоведучих частин, блокуванням безпеки і методами орієнтації. На тяжкість електротравм впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм перемінний), частота струму (50 Гц), шлях струму в організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище.

Лабораторія 036 (А) відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки, так як підлога не електропровідна, кліматичні умови не перевищують норм, приміщення дотримують у чистоті.

Електробезпека людей значною мірою залежить від вологості і температури повітря у приміщенні, ступеня електропровідності підлоги і стін, наявності в повітрі хімічних речовин й електропровідного пилу тощо.

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів електроустаткування і приладів та будь-яких заземлених елементів.

## **5.5 Розрахунок вентиляції**

Конструкція місцевих відсмоктувачів вибирається в залежності від виду технологічного процесу, обладнання та оснащення. Вона повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря на робочому місці при мінімальних витратах повітря, яке видаляється, запобігати розповсюдженню шкідливих речовин по об'єму приміщення, не заважати виконанню технологічних операцій. Прив'язка відсмоктувачів до обладнання повинна здійснюватись з урахуванням максимально можливого приближення його до джерела шкідливих виділень.



Типові схеми та конструкції відсмоктувачів, а також методи їх розрахунку узагальнено в методичних вказівках до проектування [19].

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією  $L_M$ , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку:

$$L_M = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \quad (5.1)$$

де  $F_0$  – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача,  $\text{м}^2$ ;

$V_0$  – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі,  $\text{м/с}$ .

Площу  $F_0$  визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою.

При застосуванні електродугових та плазмових технологій значення  $V_0$  знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря  $V_x$  ( $0,5 \text{ м/с}$ ) у зоні електричної дуги на відстані  $X$  ( $0,45 \text{ м}$ ) від центра всмоктуючого отвору:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (X/d)^2, \quad (5.2)$$

де  $d$  – діаметр вентиляційного отвору,  $\text{м}$ .

На рис. 5.3 наведено принципову схему місцевої вентиляції необхідної для проведення ЕІЛ.

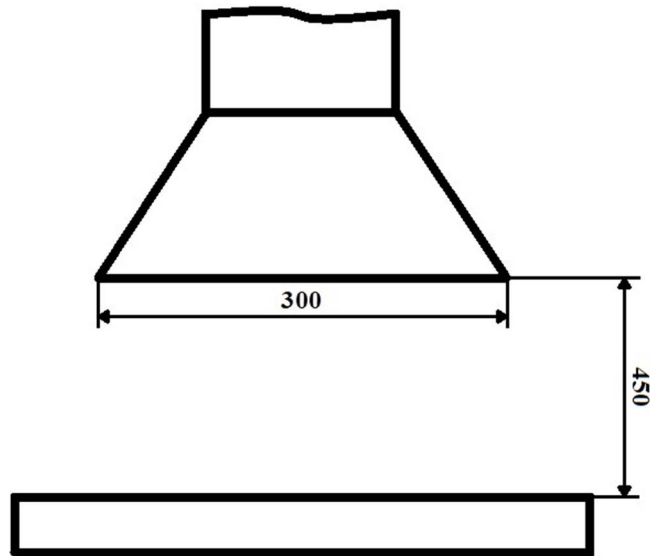


Рисунок 5.3 – Схема місцевої вентиляції

У результаті розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі  $V_0$  має становити 18 м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією  $L_m$  – 2995 м<sup>3</sup>/год.

### 5.6 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації

Події, при яких порушуються нормальні умови життя і діяльність людей та які можуть призвести, або призводять до загибелі людей та значних матеріальних збитків називаються надзвичайними ситуаціями. Вагомість надзвичайної ситуації визначається передусім кількістю жертв та ступенем впливу на оточуюче середовище.

Національний класифікатор ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій" (КНС) - один зі складників комплексу національних класифікаторів. У класифікаторі зазначено впорядковані назви сучасних надзвичайних ситуацій (НС), які можуть виникнути в Україні, та їхні коди.

Надзвичайні ситуації класифікують за характером походження, ступенем поширення, розміром людських втрат і матеріальних збитків.

Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій:

- Надзвичайна ситуація техногенного характеру
- Надзвичайна ситуація природного
- Надзвичайна ситуація соціального
- Надзвичайна ситуація воєнного характеру

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій:

- державний;
- регіональний;
- місцевий;
- об'єктовий.

Блок ідентифікації має ієрархічну систему класифікації з трьома рівнями класифікації: клас, підклас, група та цифровим кодом завдовжки 5 розрядів. У ДКНС прийнято метод послідовного кодування.

Загальна структура кодового позначення ДКНС відповідає рис. 5.3

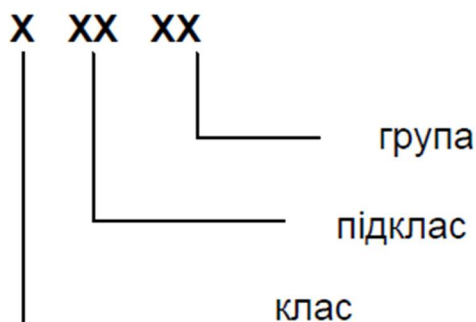


Рисунок 5.3 – Загальна структура кодового позначення ДКНС

Надзвичайна ситуація яка відбулася унаслідок пожеж чи вибухів має код 10200.

Запобігання виникненню надзвичайної ситуації – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій із метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання щодо НС техногенного та природного характеру в нашій країні виконує єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання НС техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

### **5.6.1 Пожежна безпека**

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні, де проводиться науково-дослідницька робота.

У лабораторії ймовірне виникнення пожежі, не велика, але є. Так як досліди проводять з рідким металом та заливкою у форми, є ймовірність розлиття його на підлогу чи на інші матеріали.

Пожежа відноситься до 1 класу надзвичайних ситуацій – ситуацій техногенного характеру.

Лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії Г.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;
- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.

Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування;
- необережне звертання з вогнем;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки, усунути умови виникнення та мінімізувати її наслідки. У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою виникле полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5 (ГОСТ 15150), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1). Також в корпусі, на кожному поверсі є план евакуації.

Основними заходами по пожежній безпеці є:

- регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації;
- перевірка виправності електричної проводки;
- щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами.

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) – це

класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених в них виробництв.

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Лабораторія 036 (А) відноситься до категорії Г [56].

Категорія Г:

Негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник порошковий ВП-5 (ГОСТ 15150), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1).

План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рис. 5.2.

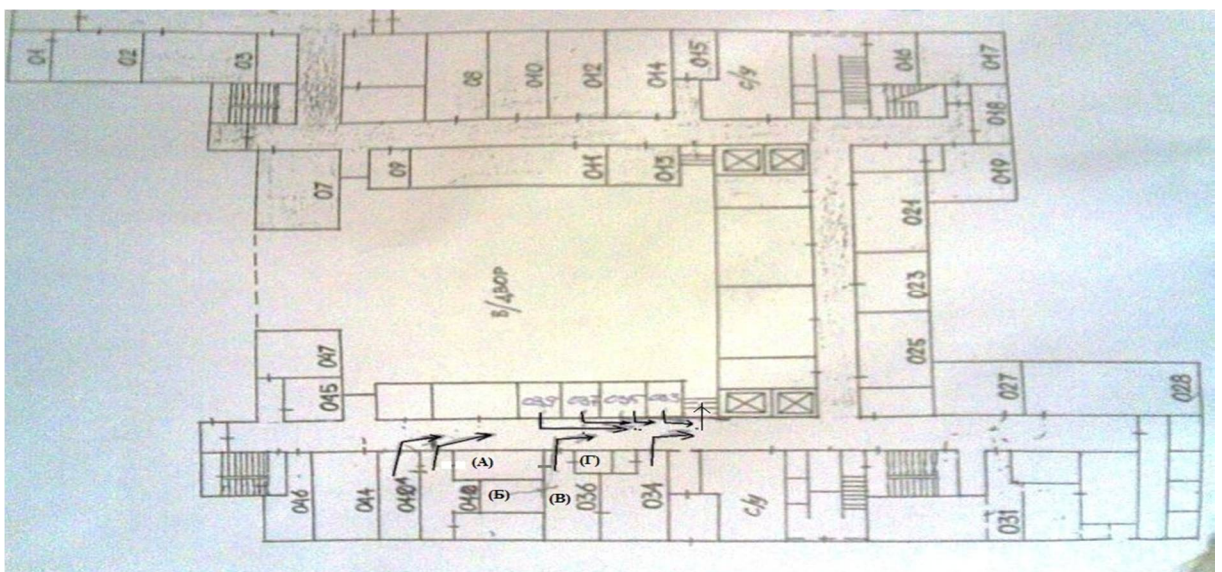


Рисунок 5.2 – План евакуації

### **5.6.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

У випадку пробією електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

## **5.7 Висновки до розділу 5**

1. Було розглянуто основні шкідливі фактори присутні у лабораторіях та місці проведення науково-дослідної роботи. Зважаючи на основні ДСТУ, ДСН, ДБН та СНИП, що регулюють необхідні для безпечної роботи параметри, було встановлено, що робоча лабораторія в якій проводилася НДР відповідає всім зазначеним нормам.

2. Отже, на основі вище зазначеного можна зробити висновок, що

мікроклімат, організація робочого місця в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, виробниче та рентгенівське випромінювання не перевищує допустимих норм. Освітлення не відповідає вимогам і не є достатнім.



## ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі Х12МФ з мікротвердістю 5,14 ГПа до 9,14 ГПа та товщиною (15-23) мкм, шляхом пошарового електроіскрового легування Fe, Cr, Ti, Co, анодами в різних послідовностях.

2. Виявлено, що наступна ударна обробка поверхневих шарів отриманих ЕІЛ Fe, Cr, Ti, Co, сталі Х12МФ призводить до підвищення мікротвердості на 1 ГПа – 3,9 ГПа та зменшення товщини покриття на 7 мкм – 10 мкм при ступенях пластичної деформації (від 0,09 до 0,11).

3. Показано, що збільшення мікротвердості поверхневого шару сталі Х12МФ зумовлено формуванням при ЕІЛ твердого розчину FeCr та включень карбіду титану, нітриду титану, інтерметаліду CoTi.

4. Показано, що розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей. Дана комбінована обробка дозволить значно підвищити міцність та зносостійкість деталей при відносно невеликих витратах на їх здійснення. Також вихід більш дешевого та якісного покриття відразу приверне увагу користувачів.

5. Мікроклімат, організація робочого місця в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, виробниче та рентгенівське випромінювання не перевищує допустимих норм. Освітлення не відповідає вимогам і не є достатнім.

## CONCLUSIONS

1. The possibility of forming hardened coatings on X12MF steel with microhardness of 5.14 GPa to 9.14 GPa and thickness (15-23) microns was established by layer electrospark doping of Fe, Cr, Ti, Co, anodes in different sequences.

2. It is revealed that the subsequent impact treatment of the surface layers of the obtained EIL Fe, Cr, Ti, Co, X12MF steel leads to an increase in microhardness by 1 GPa - 3.9 GPa and a decrease in the coating thickness by 7  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$  at degrees of plastic deformation (from 0, 09 to 0.11).

3. It is shown that the increase in the microhardness of the surface layer of X12MF steel is due to the formation of solid FeCr solution at EIL and inclusions of titanium carbide, titanium nitride, CoTi intermetalide.

4. It is shown that the development of this project is quite promising, as the modern market requires the use of more durable and quality parts. This combined machining will greatly increase the strength and durability of the parts at relatively low cost. Also, getting cheaper and better coverage will immediately attract the attention of users.

5. Microclimate, organization of workplace in the laboratory meet the requirements of sanitary standards. And the noise, production and X-rays do not exceed the limits. The lighting does not meet the requirements and is not sufficient.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation / J.W. Yeh, Y. L. Chen, S. J. Lin and oth. // Materials Science Forum. – 2007. – №3. – P. 1-9.
2. Sheng G. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase/ G. Sheng, T. Liuc // Science Direct. — 2011. — №21. – P. 433-443.
3. Swe-Kai Chen On the elemental effect of AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy system / Swe-Kai Chen Yuan-Sheng Huang , Hung-Cheng Chen // Science Direct. – 2007. – 1. №17. –P. 5.
4. Фирстов С.А. Механические свойства литых многокомпонентных сплавов при высоких температурах / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Н.А. Крапивка // Институт проблем материаловедения НАН Украины. — 2008. — Вып. 17. — С. 126—139.
5. Блінков И.В. Фазовый состав и свойства износостойких Ti-Al-Cr-Zr-Nb-N покрытий, полученных методом физического осаждения из газовой фазы / И.В. Блінков, А.О. Волхонский , В.Н. Аникин // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – №4. – С.37-43.
6. Мелихов С.Г. Методы нанесения упрочняющих покрытий / С.Г. Мелихов – М.: Панорама, 2004.- 28с.
7. Formation and Consolidation of Mechanical Alloyed Ti – Cu Amorphous Powder / P. H. Shingu, B. Huang, S. R. Nishitani and oth. // Trans Japan Inst Metals. – 1988. – №3. – P. 198 – 207.
8. Suryanarayana C. Mechanical alloying and milling / C. Suryanarayana // Progress in Materials Science. – 2001. – P. 184–187.

9. Characterization of nanocrystalline CoCrFeNiTiAl high-entropy solid solution processed by mechanical alloying // J.Y. Zhanga, W.M. Wanga, S.W. Leeb, K. Niiharac and oth. // Journal of Alloys and Compounds. –2010 – №33. – P. 38.
10. Varalakshmi S. Processing and properties of nanocrystalline CuNiCoZnAlTi high entropy alloys by mechanical alloying / S. Varalakshmi , M. Kamaraj, B.S. Murty // Materials Science and Engineering. – 2010 – № 1. – 1027–1030 p.
11. Мулин Ю. И. Технологические и методологические основы формирования функциональных покрытий методом электроискрового легирования с применением электродных материалов из минеральных концентратов Дальнего Востока : автореф. дисс. на соискание учен. степени докт. техн. наук : спец. 05.02.01 “Материаловедение” / Ю. И. Мулин. – Комсомольск – на – Амуре, 2007. – 40, [1] с.
12. Зайцева Н. В. Структура і фазовий склад поверхневих шарів сталі після електроіскрового та деформаційного впливу : автореф. дис. на здобування наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Н. В. Зайцева. – Київ, 2000. – 19, [1] с.
13. Влияние электроимпульсной обработки на микроструктурные превращения в зоне контакта разнородных металлических веществ / Ю. С. Аврамов, В. И. Кошкин, В. Е. Панин [и др.] // Перспективные материалы. – 2006. – № 6. – С. 10–14.
14. Погожев Ю. С. Дисперсноупрочненные наночастицами электродные материалы и покрытия на основе карбида титана: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.06 “Порошковая металлургия и композиционные материалы” / Ю. С. Погожев. – Москва, 2006. – 25, [1] с.
15. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов / Б.Р. Лазаренко – М. : АН СССР, 1957. – 228 с
16. Мулин Ю. И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из

- минерального сырья / Ю. И. Мулин, А. Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – 110 с.
17. Плошкин В. В. Структурные превращения при электроэрозионной обработке сталей / В. В. Плошкин // Известия ВУЗов, Черная металлургия. – 2005. – Т. 10, № 11. – С. 43–48.
  18. Рыбалко А. В. Перспективы повышения производительности электроискрового легирования / А. В. Рыбалко, В. И. Хамурарь, Д. М. Гринчук // Электронная обработка материалов. – 1999. – № 1. – С. 10–13.
  19. Лазаренко Б. Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. – Кишинев : АН МССР, 1959. – 307 с.
  20. Исследование поверхностных слоев вольфрамосодержащих твердых сплавов при электроискровом легировании алюминием / А. Д. Верхотуров, Л. А. Гордиенко, П. А. Коневцов [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 3. – С. 52–62.
  21. Tosun N. The effect of cutting parameters on wire crater sizes in wire EDM / N. Tosun, C. Gogun, H. Pihtili // The international journal of advanced manufacturing technology. – 2003. – № 21. – P. 857–865.
  22. Лазаренко Н. И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей / Н. И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1965. – № 1. – С. 11–14.
  23. Верхотуров А. Д. Обобщенная модель процесса электроискрового легирования / А. Д. Верхотуров // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – 1983. – №1. – С. 3–6.
  24. Золотых Б. Н. Основные вопросы теории электроискровой эрозии в импульсном разряде в жидкой диэлектрической среде : автореф. дисс. на соискание учен. степени докт. техн. наук : спец. 0501 "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" / Б. Н. Золотых. – Москва, 1968. – 52, [1] с.

25. Миронов В.М. Исследование фазового состава зоны взаимодействия молибдена с железом и сталями при электроискровой обработке / В. М. Миронов // Перспективные материалы. – 2003. – № 5. – С. 84–88.
26. Mulin Y. I. Technological Solution of Forming Coatings with Required Depth During Electrosark Alloying / Y. I. Mulin, L. A. Klimova, D. A. Dmitriev // Russian Technical News Letter. – 2001. – № 3. – С. 30–31.
27. Горелик С. С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков – М. : Metallurgiya, 1970. – 271 с.
28. Мазанко В.Ф. Физико-химическая механика материалов / В.Ф. Мазанко, К.Н. Храповская, Е. В. Иващенко, С. П. Ворона – М. : Metallurgiya, 2008. – 117-119 с.
29. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М Муха. – К. : Тех-ніка, 1982. – 181 с.
30. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995.–323с.
31. Электродные материалы для электроискрового легирования / [А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров]. – М. : Наука, 1988. – 224 с
32. Effect of structure evolution induced by ultrasonic peening on the corrosion behavior of AISI 321 stainless steel /B.N.Morduyk, G.I.Prokopenko, M.A.Vasylyev, M.O. Iefimov.–Mater. Sci.Eng. A, 2007. – 458. – P. 253 – 261.
33. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов/ Р. Хоникомб - М.: Мир, 1972. – 408 с.
34. Высокоскоростные ударные явления/ Пер. с англ. под ред. В.Н.Николаевского. – М.:Мир,1973.-457 с.
35. Седов Л.И. Механика сплошной среды/ Л.И. Седов - Т.2.- М.:Наука,1973. – 584 с.

36. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности./ Д.Д. Ивлев – М.:Наука,1966 – 232 с.
37. Глушак Б.Л. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках/ Б.Л. Глушак, В.Ф. Куропатенко, С.А. Новиков – Новосибирск: Наука, 1992. – 295 с.
38. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „Металорізальні верстати та системи”/ І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Китичок і ін. – Житомир:ЖІТІ, 2001 – 516 с.
39. Methodological approach to the identification of predictive models of socio-economic processes for investment and innovative development of enterprises / T.L. Bezrukova, S.S. Morkovkina, B.B. Russia, I.I. Shanin, E.G. Popkova // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 27, № 11. – С. 1443-1449.
40. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова //Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95-97.
41. Дрейпер, У. Стартапы : профессиональные игры Кремниевой долины / У. Дрейпер ; пре- дисл. Э. Шмидта ; пер. с англ. В. Егорова. – Москва : Эксмо, 2012. – 378 с.
42. Коэн Д. Стартап в Сети : мастер-классы успешных предпринимателей / Д. Коэн, Б. Фелд ; пер. с англ. М. Иутина. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2013. – 337 с.
43. Харниш В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.
44. Экланд С. Ангелы, драконы и стервятники : как привлечь правильных инвесторов в свой стартап и сохранить бизнес / С. Экланд ; пер. с англ. О.

- Терентьевой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2011. – 275 с.
45. Квашнин А. Как управлять портфелем технологий и интеллектуальной собственностью : серия методических материалов «Практические руководства для центров коммерциализации технологий» / А. Квашнин – под рук. П. Линдхольма, проект EuropeAid «Наука и коммерциализация технологий», 2006. – 60 с.
  46. Практикум з охорони праці/ Джигирей В. С., Сторожук В. М., Лико Х.І., Туряб Л. В.; За ред. В. Ц. Жидецького. - Львів: Афiша, 2000. - 352 с.: ил.
  47. "Про охорону праці" : Закон України від 14.10.92 // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668.
  48. Основи охорони праці 2 видання / за ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ «Основа» 2006 – С. 444.
  49. СНиП 2.09.04-87.Строительные нормы и правила. Административные и бытовые здания.
  50. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
  51. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення
  52. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення/ В.М. Москальова– Рівне: НУВГП , 2009.
  53. Розрахунок штучного освітлення приміщення методом коефіцієнта використання. [Електронний ресурс] – режим доступу: [http://msk.edu.ua/s-k/downloads/bud\\_fiz/uk/pz2.pdf](http://msk.edu.ua/s-k/downloads/bud_fiz/uk/pz2.pdf)
  54. НРБУ-97 - Норми радіаційної безпеки України 1997 р.
  55. ПУЕ-86 – Правила устройства электроустановок.
  56. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 - Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою